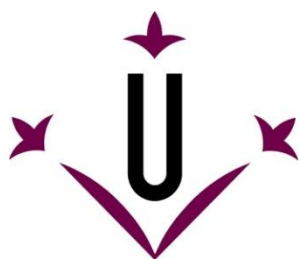


Universitat de Lleida - EPS



Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior

Grau en Enginyeria Mecànica
Industrial

Treball final de Grau:

Disseny d'una roda giroscòpica per la bicicleta

Autor: Ferran Pera Regué

Director del treball: Miquel Nogués Aymamí

Lleida, Juliol 2017

ÍNDIX

1. Objecte	4
2. Abast	5
3. Antecedents.....	6
3.1 Jyrobike.....	6
3.2 Lit Motors C-1.....	8
4. Introducció i fonaments del sistema giroscòpic	9
4.1 Teoria introductòria del giroscopi	9
4.1.1 Història del giroscopi.....	9
4.1.2 Principis del giroscopi	10
4.1.3 Cinemàtica i moviments del giroscopi	12
4.1.4 Comportament del giroscopi	14
4.2 Física de la bicicleta.....	15
4.2.1 Principis de la estàtica, condició d'equilibri.....	16
4.2.2 Dinàmica i energia de la bicicleta.....	17
4.2.3 Estabilitat de la bicicleta.....	19
5. Requisits i estudis previs pel disseny del sistema giroscòpic ...	22
5.1 Posicionament del sistema giroscòpic	22
5.2 Anàlisi previ de la bicicleta	23
6. Disseny del sistema giroscòpic	26
6.1 Anàlisi dinàmic de la bicicleta en tres dimensions.....	26
6.2 Càlculs i dimensionats	36
6.2.1 Dimensionat motor.....	36
6.2.2 Dimensionat engranatges.....	38
6.2.2.1 Relació sistema transmissió engranatges-motor	42
6.2.2.2 Càlcul de la resistència d'una roda dentada	45
6.2.3 Dimensionat controladora	46
6.2.3.1 Arrencada sistema giroscòpic.....	47

6.2.3.2 Funcionament del motor	48
6.2.3.3 Regulació i control del motor	49
6.2.3.4 Placa mare	52
6.2.4 Dimensionat rodaments	53
6.2.4.1 Rodament de doble filera de boles de contacte angular	55
6.2.4.2 Rodament d'agulles amb anell interior	58
6.2.5 Dimensionat alimentació	60
6.2.5.1 Simulació del consum d'intensitat.....	61
7. Pressupost.....	65
7.1 Estat d'amidaments.....	65
7.2 Pressupost per partides	68
7.3 Resum pressupost	71
8. Conclusions del treball.....	72
9. Plec de condicions	73
9.1 Normativa aplicada	73
9.2 Característiques i condicions d'ús dels components de la roda	79
9.2.1 Components interns de la roda	79
9.2.2 Components externs de la roda	88
9.2.3 Elements de fixació i separadors	89
10. Referències bibliogràfiques.....	90
11. Annexos.....	95
Annex A – Càlculs justificatius	95
Annex B- Catàlegs fabricants.....	102
12.Plànols.....	120

1. Objecte

Aquest projecte està enfocat amb l'objectiu de poder dissenyar una roda la qual ajudi a tenir l'estabilitat necessària a l'usuari damunt la bicicleta de passeig, aquest usuari seria d'edat avançada o bé amb problemes psicomotrius, tot i que no és exclusiu per aquests usuaris.

Caldran uns requeriments indispensables per la solució del projecte que contemplaran tots els factors que puguin afectar el sistema giroscòpic i sempre tindrà com objecte ser dissenyat i dimensionat amb el màxim detall i realisme possible.

Així doncs, es calcularà i determinarà l'equilibri de l'usuari i el funcionament de l'estabilitzador giroscòpic tenint en compte els requeriments esmentats, la física de la bicicleta i els agents exteriors que intervenen. Aquests càlculs partiran d'uns fonaments teòrics físics, entre els quals estan l'efecte giroscòpic, l'equilibri dinàmic i estàtic, entre altres.

Un altre objectiu és que es puguin dimensionar els components de l'estabilitzador i els seus materials en el mínim espai possible i al menor cost econòmic. La finalitat sempre serà poder ser més accessible a la majoria de les persones i que aquestes tinguin la possibilitat de provar el producte.

També s'ha de determinar el control del sistema i l'assemblatge d'aquest pel seu òptim rendiment i funcionament sense cap tipus de vibració del sistema que pugui malmetre la instal·lació de la roda.

Finalment es vol prototipar el disseny de la roda a través d'un programa de disseny 3D. Aquest disseny es veurà a través dels plànols presentats en aquest treball (apartat 12). En resum, el disseny servirà per comprovar la situació real i estructurada de la roda verificant que tots els components estiguin ben dimensionats. Així doncs, aquest sistema giroscòpic aplicat a una roda de la bicicleta ja es pugui treure al mercat sense cap tipus d'incertesa.

2. Abast

Havent definit els objectius principals del projecte, es bàsic aprofundir en els problemes que comporta un estudi d'aquest tipus. Per tant cal conèixer l'abast i comprendre les necessitats del projecte per poder completar satisfactòriament el desenvolupament d'aquest a partir de conceptes d'enginyeria i disseny del producte.

Per dur a terme els objectius inicials, convé endinsar-se en els conceptes teòrics de l'efecte giroscopi i comprendre la seva funció per així poder realitzar l'anàlisi tridimensional de la bicicleta i la roda giroscòpica amb total garantia. Aquest anàlisi serà resolt per un programa de resolució d'equacions i donarà uns resultats amb els quals es podrà determinar i dimensionar el conjunt de la roda.

El dimensionat dels components de la roda, principalment girarà entorn del disc d'inèrcia, el qual està a l'interior de la roda girant a altes revolucions per garantir una gran estabilitat en el vehicle de dos rodes. Però si més no, caldrà investigar i comparar diversos fabricants de tota la resta de components que engranaran i acompanyaran al disc d'inèrcia per donar-li sentit i funcionalitat a la roda.

Cal destacar que no s'entrarà en matèria en quan al control del sistema i únicament s'explicarà la funció de la controladora sense entrar en conceptes d'electrònica ni realitzar cap mena de circuit electrònic amb el cablejat, que es connectarà en alguns aparells.

Per realitzar el prototipatge final de la roda serà imprescindible utilitzar un programa de modelatge 3D (*SolidWorks 2014*) amb el qual es concretarà la forma i l'assemblatge de cada un dels components amb la resta. Així doncs, també es crearà plànols i explosionats a partir dels arxius creats per aquest programa. Amb aquest plànols ja es podria realitzar la roda giroscòpica en qualsevol fàbrica i posar la producció d'aquesta en marxa.

3. Antecedents

L'ús del giroscopi, tant en funció de sensor com d'estabilitzador, està aplicat avui dia en transport, tecnologies i utensilis de precisió. Així que el podem trobar a un *smartphone* o bé el podem trobar amb un coet de la NASA, en vaixells de navegació, helicòpters, entre altres.

Si més no, fins a la data, es pot trobar dos clars antecedents del giroscopi utilitzat com a estabilitzador. Ambdós antecedents es tracten de vehicles de dos rodes auto-equilibrats. Un és una bicicleta amb una roda davantera estabilitzadora, la *Jyrobike*, potser l'antecedent més relacionat i enfocat a l'objectiu d'aquest treball. L'altre es tracta d'un vehicle anomenat *Lit Motors C-1*, el qual incorpora dos giroscopis interns que el fan estabilitzar.

3.1 Jyrobike

Jyrobike és fruit d'un projecte ambiciós d'un equip d'enginyers d'Estats Units, els quals van crear un prototip entre els anys 2004 i 2007. Aquest va guanyar un important premi, el qual va permetre l'impuls d'aquest projecte i al 2010 es va crear l'empresa *Jyrobike Inc.* a San Francisco.

Posteriorment, al 2013, Robert Bodill va adquirir els drets de la companyia i va incrementar el capital de l'empresa amb ajudes externes i donacions d'empresaris que creien en aquest projecte. La comercialització a nivell industrial d'aquest producte encara no està en ús, però es preveu que aviat, milers de nens de tot el món tindran el privilegi de tenir aquestes bicicletes que contraresten els problemes d'aprenentatge d'aquest vehicle a través de la física.



Figura 1. Prototip de la bicicleta *Jyrobike*.

Aquest projecte anomenat *Jyrobike*, es tracta bàsicament d'una bicicleta que ajuda a l'usuari a aguantar l'equilibri, això passa gràcies a la roda del davant que porta un disc intern girant a unes revolucions determinades per garantir l'equilibri del conjunt bicicleta i ciclista, gràcies a l'efecte giroscopi. Aquesta bicicleta auto-equilibrada està enfocada als nens/es que comencen en el món del ciclisme i encara no saben

mantenir l'equilibri. Així doncs, no els hi cal rodetes i a l'hora guanyen confiança sobre un vehicle de dos rodes.

Cal deixar clar que encara que el nen/a perdi l'equilibri o es balancegi, la bicicleta corregirà aquesta posició i no permetrà la caiguda del nen/a. Es pot confirmar aquesta afirmació, ja que ha estat provada per milers de nens, garantint així l'ús de la *Jyrobike* arreu del món.

L'empresa *Jyrobike Inc.* s'ha assegurat que ningú els hi pugui treure la idea i té la patent d'aquest sistema d'estabilització a través del giroscopi d'un vehicle de dos rodes.

Funcionament de la Jyrobike:

Aquesta bicicleta ha estat dissenyada per nens de 3 a 9 anys i està disponible en dos talles, 12" i 16". Bàsicament, tal i com s'ha dit prèviament, la *Jyrobike* és una bicicleta convencional amb una roda davantera especial que substitueix la normal, la roda de llanta i neumàtic coneguda per tots. Així aquesta roda, basant-se en els principis del giroscopi, està formada per una sèrie de components en el seu interior (veure figura 2), els principals són:

- Bateria, per alimentar el motor.
- Motor elèctric que proporciona l'impuls al disc d'inèrcia.
- Disc d'inèrcia que gira a altes revolucions, garantint una força estabilitzadora. És la part més important de tota la bicicleta amb diferència, sense el disc no es podria generar aquesta força d'auto-balanceig.

El disc tindrà tres velocitats de gir segons el grau d'ajuda que vulgui l'usuari per aguantar l'equilibri.

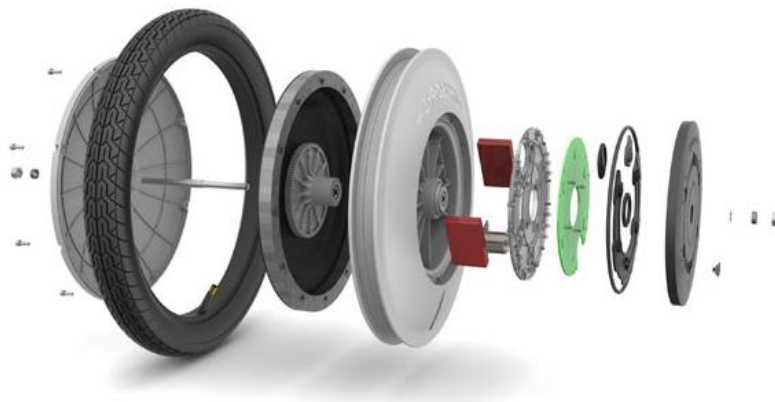


Figura 2. Components interns de la roda davantera.

3.2 Lit Motors C-1

Aquest prototip està pensat i dissenyat per l'empresa *Lit Motors Inc.*, localitzada a San Francisco. *Lit Motors Inc.* va ser fundada l'any 2010 per Daniel K.Kim (el qual al 2003 ja va observar i tenia clar que els vehicles de dos rodes eren el futur), allí van començar a dissenyar vehicles de dos rodes amb tecnologies innovadores en el sector. Fins a la data d'avui, on s'ha arribat al prototip d'aquest projecte tan ambiciós, anomenat AEV, aquestes inicials vindrien a ser vehicle elèctric auto-balancejat, també dit C-1. Es preveu la comercialització del C-1 en un futur proper a un preu base d'uns 24.000 \$.

Es tracta d'un vehicle elèctric de dos rodes auto-estabilitzat a través de dos giroscopis, alimentats per bateries de liti. És un vehicle monoplaça que recorda a la combinació d'un cotxe aerodinàmic amb una motocicleta, en el qual s'ha intentat tenir la màxima potència dins d'una estabilitat i control del C-1 i a la vegada aconseguint una mínima resistència de l'aire donada la seva carrosseria tant esportiva.

Els dos giroscopis tenen una gran potència, poden girar a altes revolucions i tenen un alt moment d'inèrcia. Poden generar cadascun fins a 800 Nm de parell. Per tenir una referència de la potència d'aquests giroscopis els motors dels cotxes convencionals tenen uns 200-300 Nm de parell màxim.

Aquests giroscopis estan totalment controlats pel vehicle, el que permet un sistema de direcció per cable que permet al C-1 inclinar-se dins i fora de les voltes mantenint l'estabilitat en tot moment. Fins i tot, els giroscopis són capaços de contrarestar algun tipus de xoc amb altres vehicles i permetent que aquest vehicle segueixi en peu.

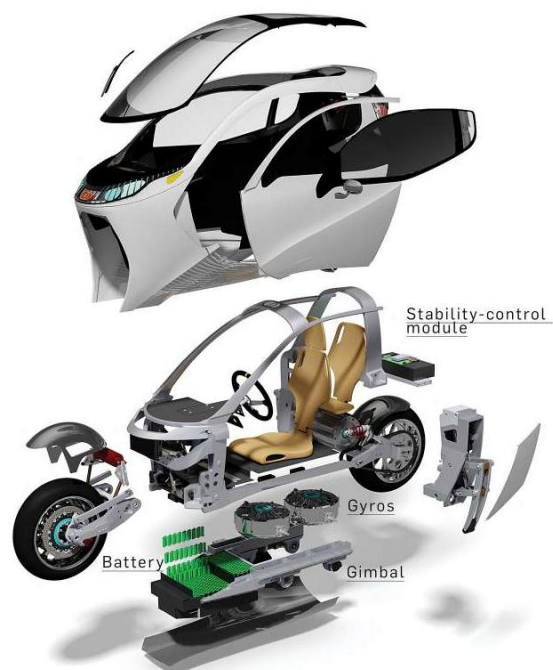


Figura 3. Lit Motors AEV, descompost per les diferents parts i components.

4. Introducció i fonaments del sistema giroscòpic

4.1 Teoria introductòria del giroscopi

El giroscopi és un dispositiu mecànic amb forma d'objecte esfèric o de disc, el qual està muntat en una suspensió de *Cardan*. Aquesta suspensió està formada per dos cercles concèntrics els eixos dels quals formen un angle recte, que permet mantenir l'orientació d'un eix de rotació a l'espai.

Aquest estri rotatori està pensat i dissenyat per poder mesurar, mantenir o canviar l'orientació en l'espai de l'objecte o vehicle en el qual està muntat. Les seves principals propietats són: la precessió (serà explicada en

l'apartat de la cinemàtica del giroscopi) i la rigidesa giroscòpica.



Figura 4. Giroscopi muntat en una suspensió Cardan.

El funcionament del giroscopi està basat en el principi de conservació del moment angular i es pot veure aplicat tant en la disminució de balanceig dels vaixells, com a les aeronaus, projectils, baldufes, en l'equilibri damunt de la bicicleta, en la brúixola, etc. En aquesta última aplicació, la brúixola, cal destacar que es fa servir ja que el giroscopi sempre s'orienta cap al nord geogràfic (cap a l'eix d'inclinació de la terra) i no pas cap al nord magnètic.

4.1.1 Història del giroscopi

El principi del giroscopi es data els seus inicis en l'ús de la baldufa sobre el primer mil·lenni a.C, això es coneix gràcies a restes pictòriques trobades a Mesopotàmia. La baldufa és un dels elements culturals més senzills i vells que reflecteix aquest efecte del giroscopi. Si més no, ningú es plantejava aquest efecte, donat que sol s'utilitzava com a entreteniment i fins a finals de la Revolució Industrial no es van determinar els principis d'aquest efecte.

Una de les primeres aplicacions útils a destacar és a mitjans del segle XVIII. L'any 1743, John Serson, un capità anglès, va inventar un tipus de baldufa que gràcies a la seva estabilitat dinàmica el permetia localitzar l'horitzó en condicions de visibilitat reduïda.

Però a qui se li va atribuir el descobriment d'aquest efecte i disseny d'aquest instrument (semblant al giroscopi), va ser a l'astrònom alemany, Johann Bohnenberger, qui el 1817 va escriure sobre el tema amb un escrit el qual parlava d'una màquina que servia per explicar les lleis de la rotació de la Terra al voltant del seu eix i el canvi d'orientació del mateix.

El matemàtic francès Siméon Denis Poisson i el seu compatriota Pierre-Simon Laplace ja parlaven d'aquesta màquina a principis del segle XIX i recomanaven l'ús d'aquesta en l'ensenyança per ajudar a entendre aquestes forces en la rotació i la inèrcia d'un objecte. Aquest fet, va ajudar a la invenció del giroscopi en sí, el qual va ser inventat el 1852 per Foucault, estimulat per la iniciativa didàctica dels francesos.

Foucault va muntar una massa rotatòria en una suspensió de Cardan per demostrar la rotació de la Terra. Així doncs, va crear un aparell que era capaç de conservar una rotació força ràpida durant un ampli rang de temps, això va ser una gran proesa per aquella època. També va permetre la invenció del girocompàs, donat que Foucault va percebre que si es bloquejaven certs moviments del suport del giroscopi, aquest s'alineava amb el meridià i d'aquí va sorgir la brúixola giroscòpica.

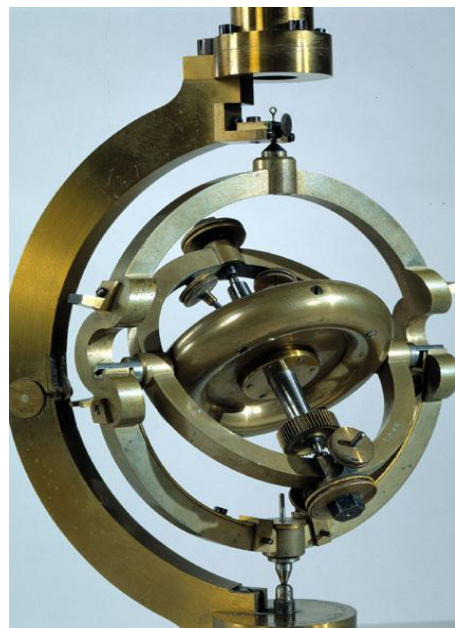


Figura 5. Giroscopi de Foucault, 1852

Des de llavors s'han anat inventant noves maneres d'utilitzar aquest curiós estri fins a l'actualitat que està present en el nostre dia a dia.

Així doncs, es pot trobar en els telèfons o dispositius intel·ligents que tothom avui en dia té i que incorporen uns giroscopis del tipus MEMS. Aquests giroscopis s'encarreguen de detectar l'orientació del dispositiu amb una gran precisió tot i la seva reduïda mida.

4.1.2 Principis del giroscopi

Per entendre les principals forces que actuen en el giroscopi, s'exemplifica a partir d'una roda de bicicleta la qual és lliure de girar al voltant del seu eix i aquest està recolzat a un punt O, el qual està a una distància D de la roda i pot girar en qualsevol direcció.

Amb la finalitat de poder entendre el moviment d'aquest sistema, s'utilitzarà el concepte del moment cinètic:

$$\vec{\tau}_{net} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad \text{eq. 1}$$

On $\vec{\tau}_{net}$ és la resultant dels parells exteriors respecte el punt fix O (veure figura 6):

$$\vec{\tau}_{net} = \vec{r}_{cm} \times M\vec{g} \quad \text{eq. 2}$$

! \vec{L} és:

$$\vec{L} = I_r \cdot \vec{\omega}_r \quad \text{eq. 3}$$

En l'equació 1 tenim que el moment resultant ($\vec{\tau}_{net}$) del producte vectorial, del vector posició \vec{r}_{cm} i la força del pes del sistema $M\vec{g}$, és igual a la derivada del moment angular (\vec{L}) en un diferencial de temps. Aquest moment angular està definit a l'equació 3, on I_r és el moment d'inèrcia de la roda respecte el seu eix giratori i $\vec{\omega}_r$ la velocitat de rotació d'aquest.

D'acord amb l'equació 1, el canvi del moment angular del sistema va en la mateixa direcció que el moment de força net que actua sobre el sistema. Es vol descriure el moviment del sistema roda-eix un cop haurà partit del repòs en la posició horitzontal (veure figura 6).

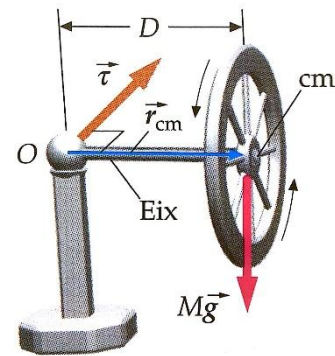


Figura 6. Moment i forces en el sistema roda-eix.

Si la roda gira una velocitat elevada al voltant del seu eix, un cop haurà partit del repòs, el sistema roda-eix girarà lentament al voltant de l'eix vertical que passa per O. La roda gira en sentit antihorari (segons la figura 7), de manera que el moment angular va en la direcció de l'eix però assenyalant en direcció oposada a O. A més, es té que el diferencial de moment angular $\Delta\vec{L}$, en un diferencial d'angle, va en la mateixa direcció que el moment de força net.

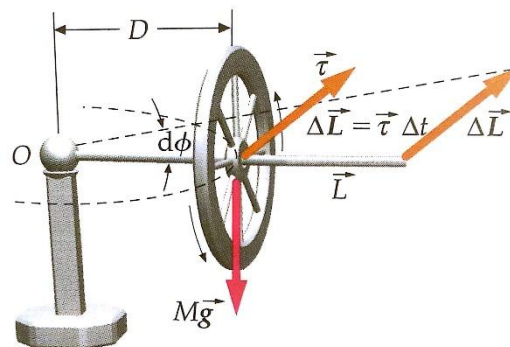


Figura 7. Diferencial de moment angular del giroscopi.

4.1.3 Cinemàtica i moviments del giroscopi

En l'efecte giroscòpic es pot veure com depèn de dos velocitats angulars bàsiques: la primera és la rotació del disc (la velocitat de rotació de l'eix) i la segona és el balanceig de l'eix giratori del disc, també anomenada velocitat de precessió. Per fer un exemple gràfic, es podria explicar a través de la baldufa que quan la fem girar, veiem que rota i a la vegada l'eix giratori de la baldufa descriu un balanceig, el qual va augmentant a mesura que es va aturant aquesta.

Es pot afirmar doncs que aquest efecte també té en compte la velocitat de precessió (dirigida segons l'eix perpendicular al disc giratori). Per tant sabent això podem veure que la velocitat angular del disc total és la següent:

$$\vec{\omega}_{disc} = \vec{\omega}_{rotació} + \vec{\omega}_{precessió} \quad \text{eq.4}$$

I la velocitat del seu centre de masses és el que es té a continuació:

$$|\vec{v}_{cm}| = \omega_{precessió} \cdot d \cdot \sin\theta \quad \text{eq.5}$$

On d és la distància del punt fix de l'eix giratori fins al centre de masses i θ és l'angle que descriu l'eix respecte la vertical.

En definitiva, el centre del disc es mou en la direcció del moment generat pel pes, el qual s'anomena efecte giroscòpic, el disc es desplaça en el pla horitzontal i no cau en el pla vertical segons la direcció marcada per la força, a diferència de quan el disc està en repòs.

La velocitat de precessió està definida per la següent equació:

$$\omega_{precessió} = \frac{m \cdot g \cdot d}{I_{disc} \cdot \omega_{rotació}} \quad \text{eq.6}$$

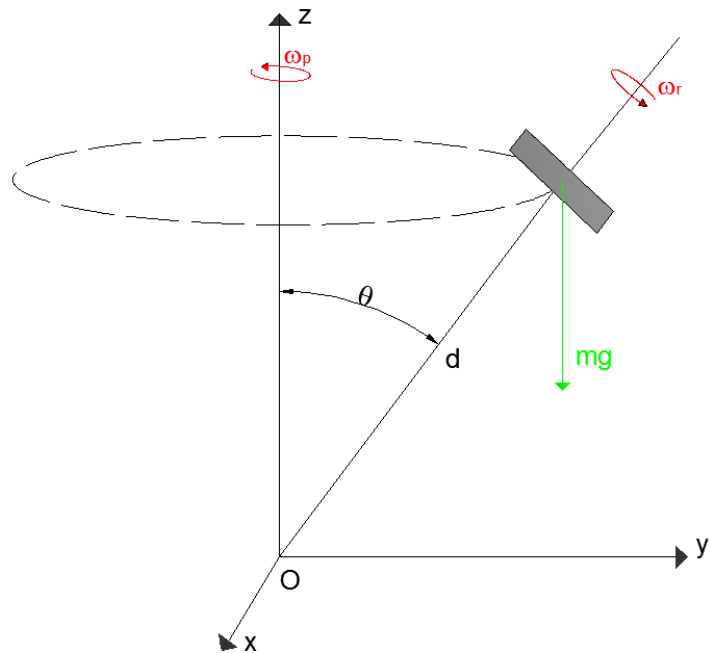


Figura 8. Esquema dinàmic del disc.

En aquesta equació es pot veure clarament de que depèn aquesta velocitat de precessió. Aquesta velocitat serà més lenta com més ràpida sigui la rotació del disc. La relació també indica que el sentit del moviment de precessió depèn del sentit de la rotació del disc al voltant de l'eix, per tant ambdós tindran el mateix signe de rotació, si la rotació és horari, la precessió serà horari.

Moviment de nutació:

Per explicar aquest moviment, es suposa que la energia cinètica subministrada inicialment en el disc és únicament la de la seva rotació al voltant de l'eix i aquesta no varia ja que no hi ha cap fregament.

Un cop s'ha arribat en aquesta situació cal preguntar-se d'on sorgeix l'energia cinètica del moviment de precessió. Bé, doncs aquesta sol pot esdevenir de l'energia potencial gravitatòria un cop l'eix del disc es desvia un angle θ de la vertical. Llavors el centre de masses davallarà i l'energia potencial gravitatòria disminuirà.

En aquesta situació el disc començarà a caure en el pla vertical i s'inclinarà, però llavors el moviment de caiguda sobrepassa la inclinació necessària pel moviment de precessió. S'origina així un excés d'energia cinètica de precessió i és en aquest instant que es reinverteix el procés i part d'energia cinètica es transforma en energia potencial gravitatòria. Un fet que farà que torni el disc en una inclinació òptima i a partir d'aquí començarà una oscil·lació vertical de l'eix entre dos angles θ_1 i θ_2 , això definirà el moviment de nutació. Així doncs, tal i com veiem a la figura 9, l'eix del disc descriurà una línia ondulada al llarg del temps.

El moviment oscil·latori entre els dos angles θ_1 i θ_2 serà un moviment que dependrà de la velocitat angular de rotació del disc.

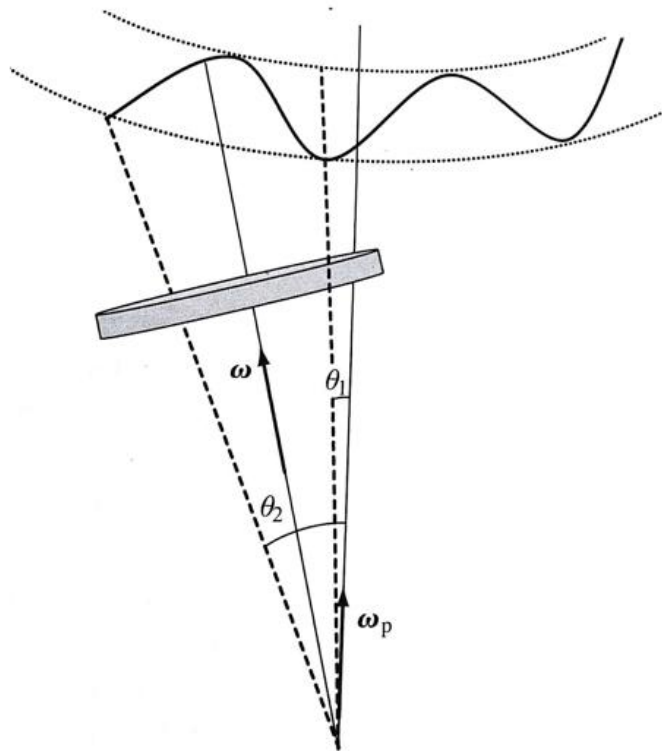


Figura 9. Moviment oscil·latori de l'eix del disc.

En el cas que aquesta velocitat sigui molt gran, llavors la velocitat de precessió serà menor i per tant aquest moviment oscil·latori disminuirà i, si en canvi, la velocitat de rotació disminueix, aquesta oscil·lació de l'eix augmentarà.

4.1.4 Comportament del giroscopi

Més enllà dels conceptes teòrics i principis físics del giroscopi que s'ha introduït, caldrà aplicar aquests fenòmens en el comportament del giroscopi. Algun d'aquests conceptes serien les diferents velocitats de rotació que pot tenir, els moviments que es generen a causa de fregaments, les forces que es poden arribar a tenir si tenim l'eix del rotor fixat a un punt fix, etc.

Tot seguit es realitza un exemple on es pot veure el comportament en sí del giroscopi i el funcionament d'aquest a la pràctica i com respon a les forces externes quan aquest està en un gir uniforme i continu.

Per entendre el comportament del giroscopi es suposarà una situació concreta. Aquesta situació consisteix en muntar un disc sobre un eix horitzontal, al voltant del qual el disc gira lliurement a gran velocitat. Una persona agafa l'eix per les dos puntes, llavors intenta fer-lo girar cap a la dreta, baixant la mà dreta i pujant la mà esquerra, en aquell moment sentirà que el giroscopi empeny la seva mà dreta i tira de la mà esquerra. En aquest moment haurà succeït l'efecte giroscòpic.

Un altre cas es pot veure en la figura 10, on es suposa una barra que està composta per dos masses negres que giren ràpidament amb una velocitat tangencial (V_T). Llavors quan les masses estan en posició vertical, es dóna un impuls F en un diferencial de temps Δt . Aquest impuls genera un diferencial de velocitats horitzontal en les dos masses, la de dalt la desvia cap a la dreta i la de baix cap a l'esquerra, per tant la barra girarà respecte l'eix longitudinal.

Això provoca un altre gir de les masses, a part del gir respecte l'eix longitudinal també hi haurà un gir respecte l'eix vertical tal i com es veu a la figura 11.

En el giroscopi habitual és una distribució uniforme de les masses però el principi i les reaccions són les mateixes

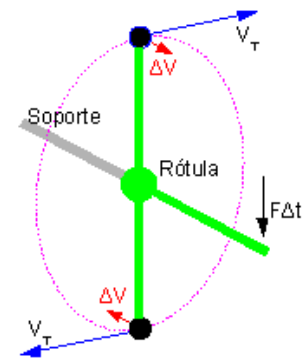


Figura 10. Reacció del braç giratori a un impuls al seu eix longitudinal.

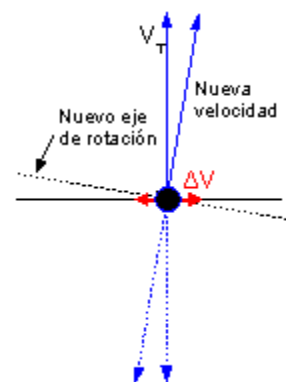


Figura 11. Vista des de dalt de la figura 10.

que en l'últim cas explicat. Cada una de les infinites masses del giroscopi reben una velocitat perpendicular afegida a la inicial. Això provoca que la velocitat canviï de direcció però aquesta no canvia de mòdul.

Resumint a grans trets l'efecte giroscòpic, es pot afirmar que aquest és causat pel canvi en la direcció de desplaçament de la massa del disc, amb una component paral·lela amb l'eix de rotació inicial, de sentit contrari en cada extrem del disc. Aquesta component del moviment implica una reacció de sentit contrari, la qual es reflecteix en el moment angular que experimenta el giroscopi.

4.2 Física de la bicicleta

En el moviment de la bicicleta, l'efecte estudiat afecta notablement l'estabilitat d'aquesta. Se sap que quan la bicicleta està en posició estàtica, és a dir, que les rodes no giren, és molt complicat aguantar l'equilibri damunt d'ella i qualsevol força-pes desviat de la vertical provoca la caiguda.

En canvi, quan les rodes giren a una velocitat uniforme, el ciclista es pot inclinar per canviar la direcció generant un moment-força (M), gràcies a la força de reacció (N) en el punt de contacte de la roda amb el terra, que indueix un canvi

(ΔL) en el moment angular previ (L_0) ara no nul, donant lloc al nou moment angular (L), el qual té diferent orientació que L_0 , resultant un canvi en l'orientació de la roda, tal i com es pot veure a la figura 12.

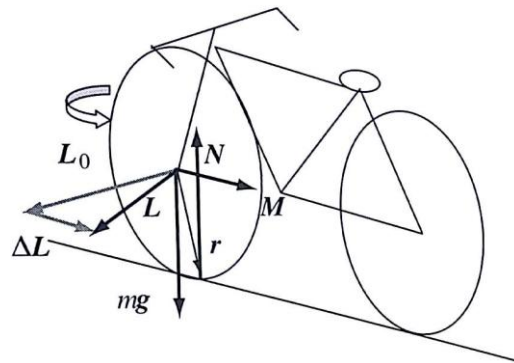


Figura 12. Forces generades en la inclinació de la bicicleta.

El moment-força generat es més gran com més gran sigui la inclinació de la roda respecte la vertical i major serà el canvi del moment angular. Per tant, es pot afirmar que com més ràpid vagi el ciclista, major haurà de ser el canvi de moment angular (ΔL) (veure figura 13) per realitzar un mateix canvi

d'orientació de la roda i en conseqüència major serà també el moment-força generat.

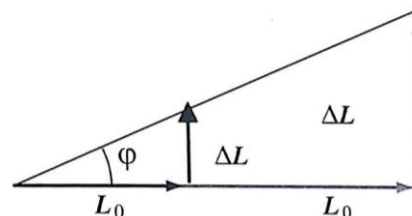


Figura 13. Relació del moment angular amb la variació corresponent.

4.2.1 Principis de la estàtica, condició d'equilibri

En l'equilibri de la bicicleta és necessari la existència de com a mínim dos forces iguals i oposades; aquestes d'igual magnitud, igual direcció i sentits oposats.

No obstant, mantenir una bicicleta en equilibri no és una tasca fàcil. Per fer-ho, és necessari que la força que actua sempre sobre la bicicleta, el pes, es trobi amb una altra d'igual direcció i de sentit oposat. Aquesta reacció és la del terra sobre el que es recolza, la qual es troba situada just en el punt de recolzament de la roda al terra.

Per tant, en l'equilibri tant estàtic com en moviment de la bicicleta, la força del pes serà essencial per determinar les situacions que es donin amb aquest vehicle de dos rodes tan popularitzat en la societat d'avui dia.

L'equilibri en moviment:

Posteriorment, un cop analitzat ràpidament l'equilibri estàtic, cal entrar en matèria en l'equilibri dinàmic, aquest serà l'equilibri en moviment de la bicicleta i el ciclista.

Primer de tot, és precís observar com canvia la força a realitzar depenent de si giren o no les rodes de la bicicleta. Això es pot comprovar si es penja la bicicleta, de manera que les rodes no estiguin en contacte amb el terra. Quan les rodes estan parades, canviar de direcció o inclinació es força fàcil. En canvi, quan aquestes estan en moviment, es percep una certa resistència al moviment que realitzem.

A posteriori d'aquesta prova, es pot afirmar que les rodes en moviment estableitzen el conjunt, amb el qual podem aconseguir un equilibri estable mantenint el gir de les rodes. Això es pot aplicar a qualsevol objecte que giri, així doncs, es pot veure com l'efecte giroscòpic intervé en l'equilibri de la bicicleta. Aquest efecte en la bicicleta, fa que la roda que gira tendeixi a conservar el pla de gir i per tant l'eix de gir sol es mourà amb facilitat quan es mogui paral·lelament a ell mateix.

La força de gir generada, la qual estableitza el conjunt de la bicicleta, dependrà de les característiques de la roda. L'estabilitat serà major com més pesi la part externa de la roda (conté el pneumàtic i la llanta), com més gran sigui el seu radi i com més ràpid giri la roda. Aquesta afirmació es recolza en l'equació 3 prèviament esmentada.

Equilibri en corbes:

L'equilibri en corbes incorpora una altra força afegida a les que es tenien prèviament en l'explicació de l'equilibri en moviment. Aquesta força és la centrífuga, la qual actua al llarg del radi de la corba "empenyent" el ciclista cap a fora de la corba dificultant l'equilibri damunt la bicicleta.

La força centrífuga depèn del pes del conjunt, de la velocitat en marxa i del radi de corba. Per aconseguir contrarestar-la és necessari que el ciclista s'inclini cap a dins de la corba o bé inclinar la superfície del terra. Per això als velòdroms s'inclina el terreny per evitar que patinin, ja que arriben a unes velocitats força elevades. A continuació es mostra l'equació de la força centrífuga:

$$|\vec{F}_c| = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad \text{eq. 7}$$

On m és la massa del conjunt, v és la velocitat lineal del centre de masses i r és el radi de la corba.

4.2.2 Dinàmica i energia de la bicicleta

En aquest capítol de la física, la dinàmica, s'expliquen les relacions existents entre les forces i acceleracions, unes relacions que cal definir per poder entendre el moviment de la bicicleta junt amb el giroscopi. Aquestes relacions venen determinades per les lleis de la dinàmica.

Llei de la inèrcia (primera llei de Newton):

Aquesta llei diu que tot cos tendeix a estar i conservar el repòs o moviment rectilini uniforme en què es trobi, mentre no actuï sobre aquest una força externa. Per tant, segons aquesta llei, el ciclista amb una recta en pla hauria de continuar el seu moviment de manera indefinida. No obstant, això no passa degut a que hi ha un fregament amb el terra i una resistència aerodinàmica, llavors la velocitat anirà disminuint a causa d'aquests factors externs.

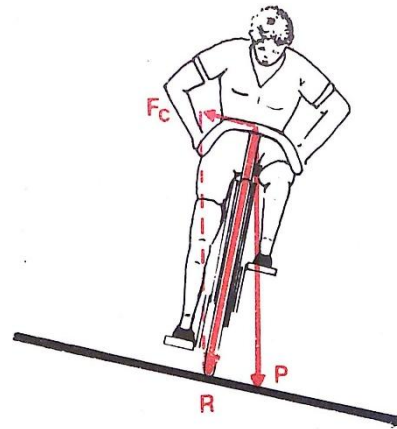


Figura 14. Forces que intervenen en el ciclista en una corba a una velocitat determinada.

Llei de la força i acceleració (segona llei de Newton) :

La segona llei de la dinàmica per un sòlid rígid és la de la proporcionalitat entre la força i l'acceleració i com a conseqüència la definició de la massa. D'aquí esdevé la coneguda equació que es té a continuació:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \text{eq.8}$$

D'aquesta fórmula es pot afirmar que amb una força constant, l'acceleració serà major com més petita sigui la massa del conjunt.

Llei d'acció i reacció:

La tercera llei de la dinàmica defineix que tota força aplicada, acció, se l'oposa una igual i oposada, reacció. Per aquesta llei es mou la bicicleta, ja que al estar les rodes en contacte amb el terra aquestes tendeixen a empènyer el terra cap enrere, amb el qual apareix una força igual i contrària que fa avançar la bicicleta.

Energia en la bicicleta:

En la bicicleta bàsicament es té l'energia cinètica, aquesta ve de la transformació en energia a partir del treball aplicat als pedals i n'hi ha de dos tipus: la de translació i la de rotació.

L'energia cinètica de translació:

Aquesta energia és la que s'esdevé del moviment lineal del conjunt de masses, bicicleta més ciclista, a una velocitat determinada pel centre de masses.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_G^2 \quad \text{eq. 9}$$

A partir d'aquesta fórmula, es defineix que el treball necessari per augmentar la velocitat depèn de la massa del conjunt.

L'energia cinètica de rotació:

Aquesta energia dependrà de la rotació dels elements del conjunt de la bicicleta, bàsicament serà la de les rodes, tot i que també hi haurà present l'energia cinètica de rotació de la transmissió (plats i *cassette*).

L'energia cinètica de rotació està definida per la següent equació:

$$E_k = \sum \frac{1}{2} \cdot I_i \cdot \omega_i^2 \quad \text{eq. 10}$$

On ω és la velocitat de rotació del cos i I és el moment d'inèrcia d'aquest. El moment d'inèrcia de les rodes, en algunes fonts, s'aproxima a:

$$I = m \cdot r^2 \quad \text{eq. 11}$$

Tot i que no deixa de ser imprecisa aquesta fórmula ja que intervenen més elements que la llanta i el neumàtic en una roda. Encara així, es pot observar que com més gran sigui el diàmetre de la roda i més lluny la llanta i el neumàtic estiguin de l'eix de gir, aquest moment d'inèrcia augmentarà notablement.

En la bicicleta el que interessa és que es desplaci aquesta el més ràpid possible, per tant convindrà gastar el treball en realitzar el desplaçament i minimitzar l'energia de rotació. Per minimitzar aquesta energia de rotació, seguint les bases de les equacions 10 i 11, convindrà reduir la massa de les rodes o reduir el radi de gir d'aquestes. També es pot aplicar a la transmissió, on aquesta, com més lleugers i reduïts siguin els seus components (plats i pinyons), dins les exigències mecàniques de transmissió de la bicicleta, menor energia cinètica de rotació requerirà.

4.2.3 Estabilitat de la bicicleta

En la bicicleta hi ha diversos factors que faciliten l'estabilitat i ajuden al ciclista a evitar la caiguda. Aquests factors serien bàsicament els següents: l'avanç, la distància entre eixos, la distribució de masses de la direcció, les forces giroscòpiques i la velocitat lineal de la bicicleta. Alterant la magnitud d'aquests factors es pot millor l'estabilitat, per això en aquest projecte es realitza un increment de l'efecte giroscòpic per facilitar l'estabilització de la bicicleta.

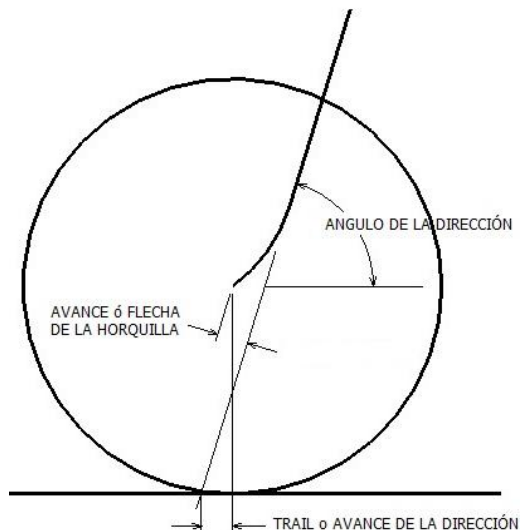


Figura 15. Avanç de la bicicleta.

Per entendre aquests factors que influencien el balanç de la bicicleta, s'explicaran a continuació:

- **Avanç:** és la distància entre el punt de contacte de la roda davantera amb el terra i el punt on la prolongació de l'eix de direcció talla amb el terra. (veure figura15).

L'avanç és un dels paràmetres essencials a l'hora de dissenyar una bicicleta i és essencial per determinar l'estabilitat de la bicicleta. Amb un avanç de més longitud, fa que sigui més estable i confortable però menys àgil quan s'ha de maniobrar. Per fer un exemple, les bicicletes de passeig tenen un avanç bastant més generós que una bicicleta de carreres, on es necessita una major agilitat i reacció damunt la bicicleta.

- **Distància entre eixos:** també anomenada batalla, és un altre factor clau en l'estabilitat direccional. Es defineix com la distància entre els dos centroides de les rodes de la bicicleta. Com més gran sigui la distància, més estable serà però menys compacta i menys nerviosa que una altra amb una distància més curta.
- **Distribució de masses de la direcció:** es basa en la distribució de masses de la roda davantera, la forquilla i el manillar. Si el centre de masses està més endavant que l'eix de direcció, quan s'inclini la bicicleta, la roda davantera també ho farà en la mateixa direcció.
- **Forces giroscòpiques:** és el factor clau en aquest projecte ja que és el que s'estudia. Es tracta de tots els cossos que giren en la bicicleta, rodes i plats, tot i que els plats es poden negligir donat que tenen poca massa i giren a poca velocitat en comparació a les rodes.

Les rodes al girar a altes revolucions generen un moment angular (tal i com s'ha vist prèviament) que permet mantenir l'equilibri. Aquest moment té dos característiques: magnitud i direcció. Es considera magnitud la força generada pel moviment giratori de la roda i està relacionada amb la velocitat a la que gira i la massa de la roda, per això es necessita més massa que giri i a més velocitat angular per garantir l'estabilitat del ciclista. Llavors es necessitarà un disc d'inèrcia amb una massa considerable per realitzar el sistema giroscòpic.

- **Velocitat lineal:** aquesta velocitat implica una major energia cinètica lineal i una major inèrcia que provoca que a altes velocitats un petit moviment de manillar provoqui el gir d'una corba quan a una velocitat més baixa caldria girar

el manillar amb un angle major. Gràcies a les altes velocitats, es pot estabilitzar un ciclista sense mans i facilitar l'equilibri damunt la bicicleta.

En l'equilibri de la bicicleta tots els factors són importants però ni molt menys ens garanteixen l'equilibri absolut. Amb aquesta afirmació es vol dir que els factors esmenats per si sols no poden garantir l'equilibri. Per exemple, les rodes per molt ràpid que girin no generaran prou moment angular com per suportar el pes del conjunt i es necessitarà més massa en les rodes per generar més moment cinètic (tal i com es realitza en el projecte).

5. Requisits i estudis previs pel disseny del sistema giroscòpic

5.1 Posicionament del sistema giroscòpic

L'aplicació del sistema giroscòpic serà a la roda davantera, per entendre-ho, s'explicarà a continuació les principals raons que fan que s'opti per utilitzar-ho a l'eix davanter de la bicicleta.

La bicicleta no pot tenir les dos rodes amb aquest sistema donat que suposa un pes extra per cada roda i comportaria un increment de pes considerable del conjunt de la bicicleta. Per tant, per dissenyar aquest sistema, primer s'ha de decidir per quin eix s'utilitzarà. Per això a continuació, es farà un resum dels punts a favor i en contra de les dos rodes:

Roda de darrere

Avantatges:

- Hi haurà més pes al darrere i per tant més tracció de la bicicleta a l'hora de pedalar.
- Aplicació del moment angular més a prop del quadre i per tant més proper al centre de masses.

Inconvenients:

- Tenint en compte que a l'eix posterior es té els pinyons, el tenir tot el sistema al darrere limita l'espai i fa que es tingui que reduir les velocitats de la bici, és a dir, el número de pinyons.
- No té velocitat de precessió, fonamental en els sistemes giroscòpics.

Roda del davant

Avantatges:

- Fàcil instal·lació a la forquilla de la roda.
- Deixa eix lliure del darrere per fer canvis interns, ja que l'eix posterior sempre és més complex que el del davant.
- Permet realitzar el viratge, bàsic per garantir l'equilibri.
- Té velocitat de precessió.

Inconvenients:

- Esforços grans a la forquilla, una de les parts delicades de la bicicleta.
- Pot dificultar el gir de l'usuari.

Si més no, el principal argument, que determina on posar la roda amb el sistema giroscòpic, és que la funció de l'efecte giroscòpic és ajudar a canviar la direcció del moment de la inclinació de la bicicleta i aquesta situació és controlada per la precessió, la qual només és possible a la roda davantera.

El moment esmentat serà proporcional al moment d'inèrcia de la roda del davant, a la velocitat de gir d'aquesta, a la velocitat a la que és virat el manillar i a l'angle entre l'eix de viratge i la vertical.

En canvi, en la roda posterior no té precessió donat que només té la inclinació de la vertical i no pot girar-se, a diferència de la roda davantera que s'inclina com si no girés en el seu eix de gir.

5.2 Anàlisi previ de la bicicleta

Abans de dissenyar i dimensionar el sistema del giroscopi en la roda, caldrà exemplificar aquest projecte en un cas real amb uns paràmetres concrets. S'analitzarà la situació i es valorarà quines característiques ha de tenir aquest giroscopi per compensar qualsevol força o alteració transversal sobre la bicicleta que pugui haver.

Relació velocitat angular i lineal de la roda a partir del CIR:

Al llarg de la circumferència de les rodes de la bicicleta es pot diferenciar clarament les diferents velocitats que hi ha. Es sap que la roda no lliscarà i per tant el punt de contacte de la roda amb el terra estarà amb velocitat zero en aquell instant. Aquell punt de contacte amb el terra serà el centre instantani de rotació (CIR) i a partir d'aquest es calcularà la velocitat d'avanç de la bicicleta i la velocitat tangencial de la roda. Tota aquesta explicació queda exemplificada a la figura 16 i se'n dedueixen les següents equacions:

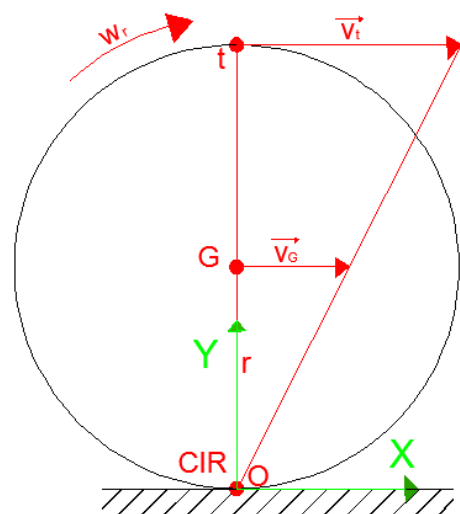


Figura 16. Esquema cinemàtic roda.

$$|\vec{v}_G| = w_r \cdot |\vec{r}_{G/O}| \quad \text{eq.12}$$

$$|\vec{v}_t| = w_r \cdot |\vec{r}_{t/O}| \quad \text{eq.13}$$

D'aquestes equacions s'obté el següent:

$$v_O = 0$$

$$v_G = w_r \cdot r$$

$$v_t = w_r \cdot 2 \cdot r$$

Aquest estudi cinemàtic de la roda se'n traurà profit per a la conversió de v_G (velocitat d'avanç de la bicicleta) a w_r (velocitat angular de la roda). Aquesta conversió serà necessària en l'estudi dinàmic de la bicicleta per relacionar la velocitat d'avanç teòrica de la bicicleta amb el moment cinètic generat per la roda a partir de la velocitat angular.

Estudi dinàmic previ de la bicicleta:

En l'estudi previ de la bicicleta, l'objectiu principal és mostrar la situació que es desenvoluparà en l'anàlisi dinàmic de la bicicleta, on s'haurà de determinar el parell que ha d'exercir el disc d'inèrcia per contrarestar la inclinació de la bicicleta i en conseqüència el pes del conjunt.

Aquest disc d'inèrcia estarà en un estat d'efecte giroscopi, on qualsevol força que se li apliqui i l'allunyi del seu eix de gir, generarà una força contrària per tornar a estabilitzar la bicicleta. La finalitat de tot aquest procediment serà veure si el disc que es vol dimensionar serà capaç de contrarestar una certa força o no.

La situació s'idealitzarà ficant la bicicleta sobre uns corrons on el ciclista podrà pedalar però la bicicleta no avançarà. Això es fa per evitar qualsevol força que generi l'energia cinètica d'avanç de la bicicleta i centrar l'atenció en la velocitat de rotació de les rodes i les accions i reaccions transversals a la bicicleta que es produeixen al llarg de la situació.

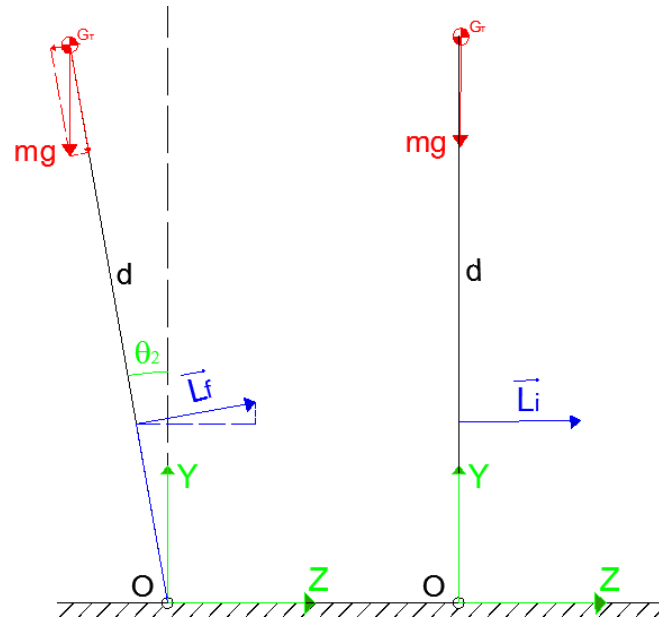


Figura 17. Posició final (esquerra) i inicial (dreta) de l'estudi dinàmic de la bicicleta.

Es partirà d'una posició inicial on el conjunt, bicicleta més ciclista, estarà fixat en el punt O i en posició vertical, les rodes girant a una certa velocitat i el disc amb una altra velocitat angular. Llavors s'inclinarà la bicicleta amb una certa acceleració provocada per una força (F_{ext}) puntual i transversal a la bicicleta. La situació serà analitzada en el precís moment que es provoca aquesta força exterior abans de que s'inclini la bicicleta. En la figura 17, es pot veure com seria tota la situació de la bicicleta al llarg de la inclinació. On el moment angular de les rodes variarien al llarg del temps vectorialment. Aquest moment angular a través del moviment de precessió del manillar haurà de contrarestar el moment creat pel pes del conjunt i així tornar a equilibrar el ciclista fins a la posició inicial.

6. Disseny del sistema giroscòpic

6.1 Anàlisi dinàmic de la bicicleta en tres dimensions

Havent vist la situació del conjunt en l'estudi previ de la bicicleta, ara toca desenvolupar un anàlisi dinàmic de la bicicleta. En aquest anàlisi s'involucrarà la roda del darrere, la roda del davant i el quadre.

L'anàlisi dinàmic és essencial per entendre i conèixer les forces i parells que hi ha involucrats en la situació que es crea per dissenyar amb unes condicions òptimes els paràmetres que ha de tenir al sistema giroscòpic i els seus valors concrets. Entre aquests paràmetres estaria la velocitat de rotació del disc d'inèrcia per assegurar l'equilibri de l'usuari, l'acceleració que té que contrarestar quan el ciclista, d'un pes en concret, es desequilibra, etc.

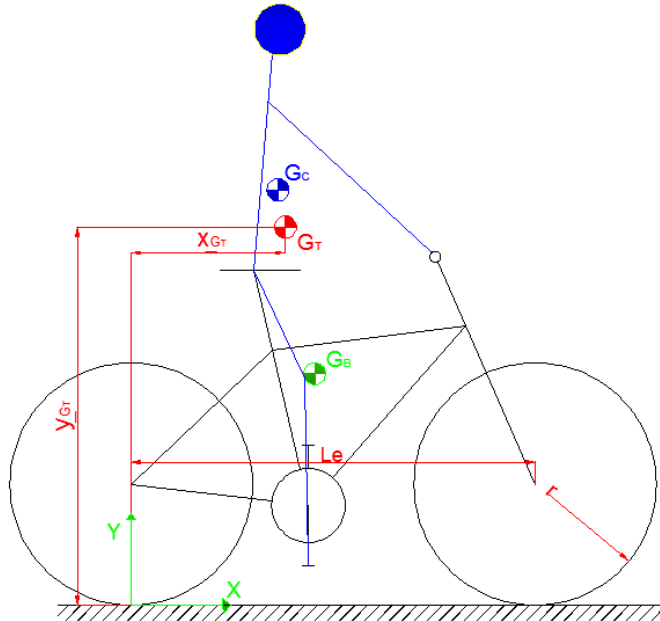


Figura 18. Esquema del conjunt amb el seu centre de masses (G_T) corresponent.

(Els eixos de coordenades únicament fan referència a la situació del centre de masses (veure annex A) i no pas al problema que vé a continuació).

Es desenvoluparà 6 equacions per cada element de la bicicleta, és a dir, hi haurà 18 equacions. Aquestes equacions seran les bàsiques, hi haurà una equació de sumatori de forces i una equació de sumatori de moments per cada element. Abans però de començar a enumerar les equacions, cal indicar que en aquest estudi en tres dimensions requereix unes equacions addicionals (de precessió de la roda davantera) que posteriorment seran exposades.

Anàlisi dinàmic en tres dimensions:

El moment cinètic tindrà una importància fonamental en aquest anàlisi ja que proporciona el parell per fer equilibrar el ciclista. Així que serà introduït a les equacions dels sumatoris de moment de cada element i després d'uns càlculs entre la matriu

identitat del moment d'inèrcia i les velocitats angulars i sumant posteriorment els moments queda la següent equació:

$$\sum \vec{M}_G = \begin{bmatrix} I_x \cdot \alpha_x + I_z \cdot \omega_z \cdot \omega_y - I_y \cdot \omega_y \cdot \omega_z \\ I_y \cdot \alpha_y + I_x \cdot \omega_x \cdot \omega_z - I_z \cdot \omega_z \cdot \omega_x \\ I_z \cdot \alpha_z + I_x \cdot \omega_x \cdot \omega_y - I_y \cdot \omega_y \cdot \omega_x \end{bmatrix} \quad \text{eq.14}$$

En aquesta equació i en el cas que s'ha proposat, cal saber que com la roda és un rotor geomètric es compleix el següent:

$$2I_x = 2I_y = I_z \quad \text{eq.15}$$

Aquesta equació serà molt important per la conversió d'un moment d'inèrcia d'un eix als demés moments d'inèrcia dels dos altres eixos.

Taula 1. Paràmetres de les equacions dinàmica 3D		
	Símbol i unitats	Valor
Massa roda del darrere	m_{rt} (kg)	2
Massa total (bicicleta+ciclista)	m_t (kg)	85,7 (10,7+75)
Massa roda del davant (disc+roda)	m_{rd} (kg)	6,3 (4,5+1,8)
Gravetat	g (m/s ²)	9,8
Força exterior	F_{ext} (N)	80
Moment inèrcia roda davant (eix z)	I_{rd} (kg·m ²)	0,2444
Moment inèrcia roda darrere (eix z)	I_{rt} (kg·m ²)	0,2716
Moment inèrcia conjunt (eix z) (ciclista+quadre bicicleta)	I_{cq} (kg·m ²)	24,471
Moment inèrcia disc (eix z)	I_d (kg·m ²)	0,164
Radi rodes	r_r (m)	0,3685
Radi disc	r_d (m)	0,27
Velocitat rotació rodes	w_{dz} i w_{tz} (rad/s)	1,508
Centre de masses total (quadre+ciclista)	G_T (coordenada x; coordenada y)	(413;1106)
Altura centre masses ciclista	h_c (m)	1,1685
Velocitat de precessió (gir manillar)	w_p (rad/s)	1,5

Nota: Els moments d'inèrcia i el centre de masses estan calculats i explicats a l'Annex A.

En la taula 1 es declaren tots els paràmetres del problema que es trobaran en els tres elements (els valors dels paràmetres s'han ficat aproximant una situació real que es planteja. Dins d'aquests valors és adequat destacar el disc, el qual té 4,5 kg i 0,27 m de radi. Aquestes dues característiques del disc estan justificades a l'Annex A en el càlcul del moment d'inèrcia d'aquest).

Les incògnites del problema seran les forces d'enllaç entre quadre i rodes (R), les reaccions del terra sobre els rodes seran (N) i hi haurà parells d'enllaç també entre quadre i rodes (M). Altres incògnites seran acceleracions i velocitats angulars.

El sentit positiu del moment es considerarà el sentit antihorari. Pel que fa a les forces el sentit positiu serà el que indiquen les fletxes de les pròpies coordenades (veure figura 19).

Roda davantera:

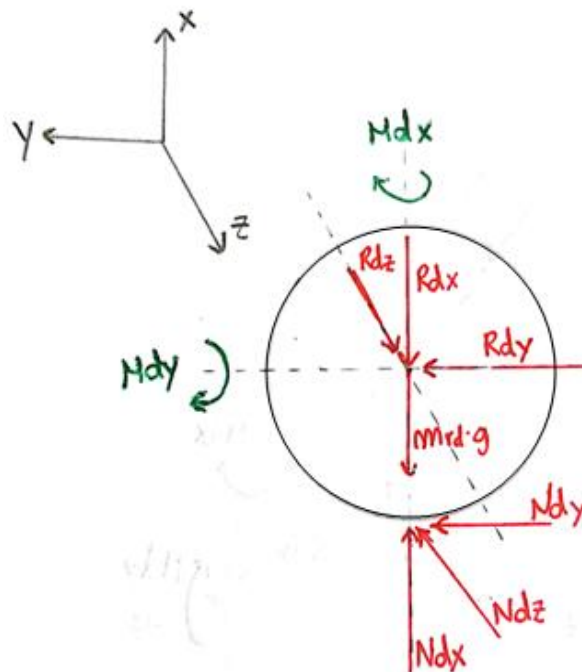


Figura 19. Esquema de la roda davantera.

Eix y

(1)

$$\sum F_y \rightarrow -R_{dy} - N_{dy} = m_{rd} \cdot a_{dy}$$

En el sumatori de moments s'igual a l'equació 14 i es passen tots els moments d'inèrcia a l'eix z amb l'equació 15.

(2)

$$\sum M_y \rightarrow -M_{dy} - N_{dz} \cdot r_r = \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \alpha_{dy} + \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \omega_{dx} \cdot \omega_{dz} - (I_{rd} + I_d) \cdot \omega_{dz} \cdot \omega_{dx}$$

Eix x

(3)

$$\sum F_x \rightarrow -R_{dx} + N_{dx} - m_{rd} \cdot g = m_{rd} \cdot a_{dx}$$

(4)

$$\sum M_x \rightarrow -M_{dx} = \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \alpha_{dx} + (I_{rd} + I_d) \cdot \omega_{dz} \cdot \omega_{dy} - \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \omega_{dy} \cdot \omega_{dz}$$

Eix z

(5)

$$\sum F_z \rightarrow R_{dz} - N_{dz} = m_{rd} \cdot a_{dz}$$

(6)

$$\sum M_z \rightarrow -N_{dy} \cdot r_r = (I_{rd} + I_d) \cdot \alpha_{dz} + \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \omega_{dx} \cdot \omega_{dy} - \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \omega_{dy} \cdot \omega_{dx}$$

Roda del darrere:

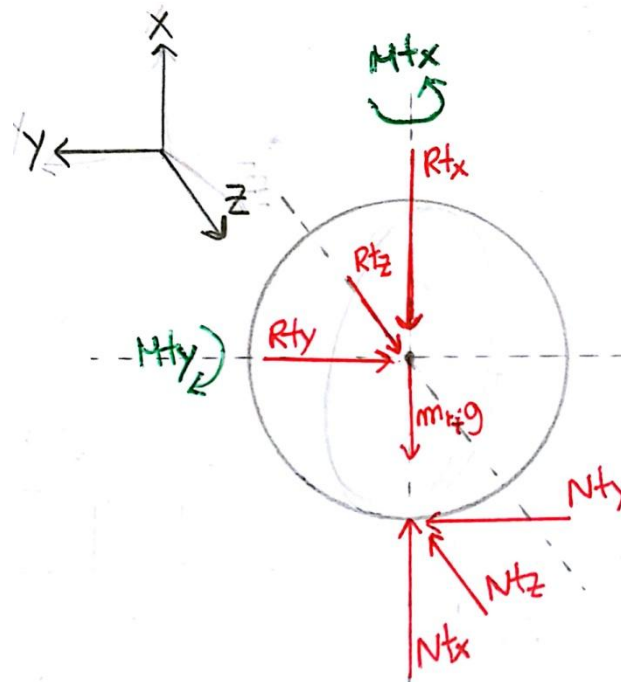


Figura 20. Esquema de la roda del darrere.

Eix y

(7)

$$\sum F_y \rightarrow R_{ty} - N_{ty} = m_{rt} \cdot a_{ty}$$

(8)

$$\sum M_y \rightarrow -M_{ty} - N_{tz} \cdot r_r = \frac{I_{rt}}{2} \cdot \alpha_{ty} + \frac{I_{rt}}{2} \cdot \omega_{tx} \cdot \omega_{tz} - I_{rt} \cdot \omega_{tz} \cdot \omega_{tx}$$

Eix x

(9)

$$\sum F_x \rightarrow -R_{tx} + N_{tx} - m_{rt} \cdot g = m_{rt} \cdot a_{tx}$$

(10)

$$\sum M_x \rightarrow M_{tx} = \frac{I_{rt}}{2} \cdot \alpha_{tx} + I_{rt} \cdot \omega_{tz} \cdot \omega_{ty} - \frac{I_{rt}}{2} \cdot \omega_{ty} \cdot \omega_{tz}$$

Eix z

(11)

$$\sum F_z \rightarrow R_{tz} - N_{tz} = m_{rt} \cdot a_{tz}$$

(12)

$$\sum M_z \rightarrow -N_{ty} \cdot r_r = I_{rt} \cdot \alpha_{tz} + \frac{I_{rt}}{2} \cdot \omega_{tx} \cdot \omega_{ty} - \frac{I_{rt}}{2} \cdot \omega_{ty} \cdot \omega_{tx}$$

Quadre bicicleta:

Abans de realitzar les equacions del quadre de la bicicleta, convé indicar que la $F_{ext}(z)$ està aplicada al centre de masses del ciclista (veure centre masses ciclista a l'Annex A).

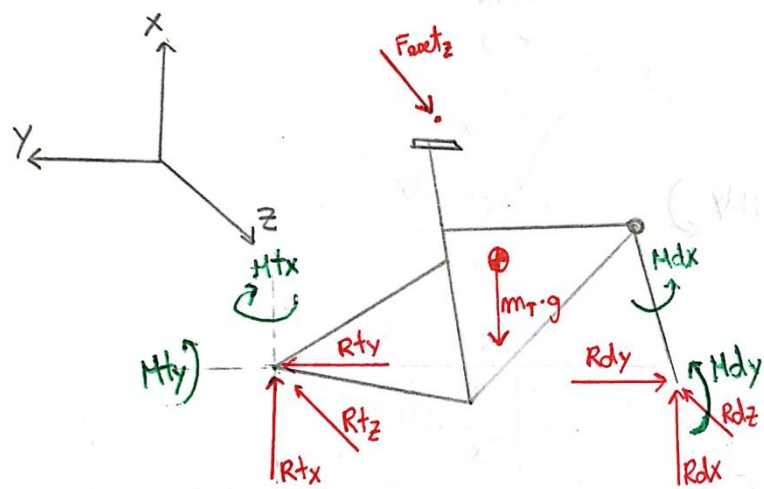


Figura 21. Esquema del quadre de la bicicleta.

Eix y

(13)

$$\sum F_y \rightarrow -R_{ty} + R_{dy} = m_t \cdot a_{cgy}$$

(14)

$$\begin{aligned} \sum M_y \rightarrow M_{ty} + M_{dy} - F_{ext} \cdot 0,0625 - R_{tz} \cdot 0,7375 - R_{dz} \cdot 0,7375 = \\ = \frac{I_{cq}}{2} \cdot \alpha_{cgy} + \frac{I_{cq}}{2} \cdot \omega_{cqx} \cdot \omega_{cqz} - I_{cq} \cdot \omega_{cqz} \cdot \omega_{cqx} \end{aligned}$$

Eix x

(15)

$$\sum F_x \rightarrow R_{tx} + R_{dx} - m_t \cdot g = m_t \cdot a_{cqx}$$

(16)

$$\begin{aligned} \sum M_x \rightarrow R_{dz} \cdot 0,687 + F_{ext} \cdot 0,013 - R_{tz} \cdot 0,413 + M_{dx} - M_{tx} \\ = \frac{I_{cq}}{2} \cdot \alpha_{cqx} + I_{cq} \cdot \omega_{cqz} \cdot \omega_{cgy} - \frac{I_{cq}}{2} \cdot \omega_{cgy} \cdot \omega_{cqz} \end{aligned}$$

Eix z

(17)

$$\sum F_z \rightarrow F_{ext} - R_{dz} - R_{tz} = m_t \cdot a_{cqz}$$

(18)

$$\sum M_z \rightarrow R_{dx} \cdot 0,687 - R_{tx} \cdot 0,413 = I_{cq} \cdot \alpha_{cqz} + \frac{I_{cq}}{2} \cdot \omega_{cqx} \cdot \omega_{cgy} - \frac{I_{cq}}{2} \cdot \omega_{cgy} \cdot \omega_{cqx}$$

Tenint les 18 equacions formulades, s'haurà de deduir incògnites ja que hi ha més incògnites que equacions. Això serà senzill donat que hi ha moltes incògnites que no són possibles en aquesta situació plantejada:

$$\alpha_y = \alpha_{dy} = \alpha_{ty} = \alpha_{cgy}$$

$$a_{ty} = a_{dy} = a_{cgy} = 0$$

$$a_{tx} = a_{dx} = a_{cqx} = 0$$

$$\alpha_{tx} = \alpha_{cqx} = 0$$

$$\omega_{tx} = \omega_{cqz} = 0$$

$$\omega_{cqz} = 0$$

$$\omega_{dy} = \omega_{ty} = \omega_{cqy} = 0$$

Tot seguit es mostra com s'ha simplificat cada una de les 18 equacions després d'aquestes deduccions:

(1)

$$R_{dy} = N_{dy} = 0$$

(2)

$$-M_{dy} - N_{dz} \cdot r_r = \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \alpha_y + \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \omega_{dx} \cdot \omega_{dz} - (I_{rd} + I_d) \cdot \omega_{dz} \cdot \omega_{dx}$$

(3)

$$-R_{dx} + N_{dx} - m_{rd} \cdot g = 0$$

(4)

$$-M_{dx} = \frac{I_{rd} + I_d}{2} \cdot \alpha_{dx}$$

(5)

$$R_{dz} - N_{dz} = m_{rd} \cdot a_{dz}$$

(6)

$$N_{dy} = 0$$

(7)

$$R_{ty} = N_{ty} = 0$$

(8)

$$-M_{ty} - N_{tz} \cdot r_r = \frac{I_{rt}}{2} \cdot \alpha_{ty}$$

(9)

$$-R_{tx} + N_{tx} - m_{rt} \cdot g = 0$$

(10)

$$M_{tx} = 0$$

(11)

$$R_{tz} - N_{tz} = m_{rt} \cdot a_{tz}$$

(12)

$$N_{ty} = 0$$

(13)

$$R_{ty} = R_{dy} = 0$$

(14)

$$M_{ty} + M_{dy} - F_{ext} \cdot 0,0625 - R_{tz} \cdot 0,7375 - R_{dz} \cdot 0,7375 = \frac{I_{cq}}{2} \cdot \alpha_y$$

(15)

$$R_{tx} + R_{dx} - m_t \cdot g = 0$$

(16)

$$R_{dz} \cdot 0,687 + F_{ext} \cdot 0,013 - R_{tz} \cdot 0,413 + M_{dx} = 0$$

(17)

$$F_{ext} - R_{dz} - R_{tz} = m_t \cdot a_{cqz}$$

(18)

$$R_{dx} \cdot 0,687 - R_{tx} \cdot 0,413 = 0$$

Simplificant doncs, s'obtindran 12 equacions que no s'hauran resolt. Llavors s'haurà d'afegir unes relacions entre incògnites per solucionar la matriu. També s'afegirà les dos equacions relacionades amb la precessió de la roda davantera.

$$a_{tz} = \alpha_y \cdot r_r$$

$$a_{dz} = \alpha_y \cdot r_r$$

$$a_{cqz} = \alpha_y \cdot d(y_{GT})$$

$d(y_{GT})$ fa referència a la distància del terra al centre de masses en la coordenada y (veure figura 18).

Les dos equacions de la precessió, tracten del parell que s'exerceix en el manillar i a una certa velocitat angular mentre el disc gira a altes revolucions per poder compensar la força exterior que se li aplica i tornar a equilibrar la bicicleta.

$$M_{dx} = F_{ext} \cdot h_c$$

$$M_{dx} = I_{disc} \cdot \omega_{discz} \cdot \omega_p$$

Ara ja es té la matriu (17x17) de 17 equacions i 17 incògnites. En aquestes equacions s'introdueixen els valors dels paràmetres esmentats prèviament i es fiquen a un programa que resol qualsevol matriu anomenat *EES (Engineering Equation Solver)*.

Al programa se li introdueixen les equacions amb les 17 incògnites, les quals seran substituïdes per una lletra per facilitar la introducció de dades. A continuació hi ha la taula d'equivalències:

Taula 2. Equivalències incògnites - lletra					
A	Mty	G	Rtx	M	adz
B	Mdy	H	Rtz	N	acqz
C	Ntz	I	Rdz	O	αdx
D	Ndz	J	Rdx	P	Mdx
E	Ntx	K	αy	Q	wdisc
F	Ndx	L	atz		

```

x=y Equations Window
-A-C*0,3685=0,2716*0,5*K
E-G-2*9,8=0
H-C=2*L
A+B-80*0,0625-H*0,7375-I*0,7375=24,471*0,5*K
G+J-85,7*9,8=0
I*0,687+80*0,013-H*0,413+P=0
80-I-H=85,7*N
J*0,687-G*0,413=0
-B-D*0,3685=0,4085*0,5*K-((0,164*(Q+1,508)+0,244*1,508)*1,5)*0,5
F-J-6,3*9,8=0
-P=0,4085*0,5*O
I-D=6,3*M
L=K*0,3685
M=K*0,3685
N=K*1,106
P=80*1,1685
P=(0,164*(Q+1,508)+0,244*1,508)*1,5

```

Figura 22. Sistema d'equacions del problema introduïdes al programa EES.

Finalment, el programa ho resol i es donen els següents resultats:

Taula 3. Resultats del problema.			
Mty (N·m)	-38,09	Rdz (N)	-73,7
Mdy (N·m)	74,23	Rdx (N)	315,3
Ntz (N)	105,9	α_y (rad/s ²)	0,5005
Ndz (N)	-74,86	atz (m/s ²)	0,1844
Ntx (N)	544,1	adz (m/s ²)	0,1844
Ndx (N)	377,1	acqz (m/s ²)	0,5536
Rtx (N)	524,5	α_{dx} (rad/s ²)	-457,7
Rtz (N)	106,3	Mdx (N·m)	93,48
wdisc (rad/s)	376,2		

Mirant els resultats, la velocitat de rotació del disc haurà de ser d'uns 380 rad/s, així doncs ja es té la informació necessària per ampliar el projecte i començar a tirar endavant la solució final i el dimensionat dels components (motor, engranatges, rodaments, etc).

6.2 Càlculs i dimensionats

6.2.1 Dimensionat motor

L'elecció del motor haurà de ser molt concreta donat que hi ha varies restriccions que fan que no es pugui triar qualsevol motor. Aquestes restriccions són les següents:

- Espai limitat que ha d'ocupar el motor dins la carcassa de la roda.
- Un parell suficient per accelerar un volant d'inèrcia de 4,5 kg fins a la velocitat angular òptima.
- Una velocitat de gir que permeti al sistema giroscòpic poder treballar i assegurar la seva funció, equilibrar el ciclista.
- Una potència ajustada, donat que el consum elèctric pujaria més i econòmicament seria més car.
- Motor amb un rendiment alt.
- Motor amb una relació bona qualitat/preu.

Pel que fa a l'espai, el motor que es tria no tindrà un gruix excessiu donat que no cabria dins la carcassa i s'optarà per un motor pla de diàmetre gran, ja que en diàmetre gairebé no es té cap mena de restricció donat la grandària del diàmetre de la carcassa de la roda. Aquest tipus de motors plans de diàmetre gran tenen una característica que és que generen un parell força gran en relació a la potència que poden oferir.



Figura 23. Motor elèctric Maxon.

Després d'observar varies opcions, es triarà un motor elèctric *brushless* (sense escombretes) del fabricant *Maxon* (veure figura 23). Cal explicar que aquest tipus de motor consta de dues parts principals, un estator (carcassa exterior) i un rotor (part interior que gira). L'estator genera una corrent inductiva quan passa corrent elèctrica per aquest i fa que els pols magnètics que té el rotor s'indueixin i comenci la rotació del motor. En aquest cas, la rotació no és implementada a través de les escombretes, al ser *brushless*.

La refrigeració d'aquest tipus de motors és essencial ja que poden agafar molta temperatura amb facilitat i baixar el rendiment i fins i tot malmetre el propi motor. Així doncs s'optarà per ficar ventilació en la carcassa, just allí on es situarà i es recolzarà el motor. No s'ha optat per utilitzar un ventilador pel motor, ja que no s'ha cregut convenient pel seu nivell d'exigència que tindrà. Es preveu que aquest nivell d'exigència serà estàndard pel que fa a la potència que pot entregar el motor.

Les característiques i dimensions del motor elegit seran exposades a continuació:

Taula 4. Característiques del motor elèctric		
Fabricant	Maxon	
Nº referència	323772	
	Símbol i unitat	Valor
Potència	P (W)	90
Eficiència	η (%)	84
Voltatge nominal	V (V)	24
Corrent nominal (màx)	I (A)	6,06
Corrent d'arrencada	$I_{m\grave{a}x}$ (A)	70
Velocitat nominal	ω_{motor} (rpm)	2590
Parell nominal (màx)	M (mNm)	444
Parell d'arrencada	$M_{m\grave{a}x}$ (mNm)	4940
Nº de pols	p	24

Taula 5. Dimensions del motor elèctric		
	Símbol i unitat	Valor
Diàmetre motor	D (mm)	90
Diàmetre sortida rotor	d (mm)	10
Longitud motor	L (mm)	51,4
Massa del motor	m (kg)	0,6

6.2.2 Dimensionat engranatges

Els engranatges s'encarregaran de transmetre la potència, parell i velocitat que generi el motor al disc d'inèrcia amb la màxima eficiència possible. Per això caldrà buscar el tipus d'engranatge segons la posició relativa i segons el dentat més adequat pel sistema que es vol dimensionar.

En quan a les últimes característiques esmentades, els engranatges seran d'eixos paral·lels, donat que l'espai dins la carcassa del sistema giroscòpic serà força limitat i serà l'única opció possible. Pel que fa al dentat, s'elegeix els engranatges cilíndrics de dentat recte, ja que és el més econòmic, té una regularitat de funcionament bastant bona i té un rendiment molt elevat.

Es dissenyaran dos engranatges en aquest sistema de transmissió del motor al disc d'inèrcia. Cal esmentar que el motor, el qual s'ha elegit prioritzant el parell màxim entregat abans que la velocitat de rotació nominal, tindrà l'engranatge amb més dents i amb més diàmetre. Això vol dir que l'engranatge del motor tindrà menys velocitat angular que l'engranatge del disc però generarà més parell sobre l'engranatge del disc d'inèrcia al tenir un diàmetre més gran del normal.

Es busquen i es dimensionen els engranatges segons els requisits del problema, en els quals hi ha l'espai transversal que hi ha dins la carcassa lliure, la profunditat d'aquesta, el diàmetre de l'eix passant, el diàmetre de l'eix del rotor del motor, entre altres. Un cop es tenen clars aquests requisits, es procedeix a triar els engranatges d'algun fabricant. Finalment es tria el fabricant d'engranatges *QTC metric gears*.

Aquests engranatges tenen una característica a destacar i és que són d'un material plàstic (MC901) que està lluny dels parells i forces que pot suportar un d'acer. Tot i que aquests de plàstic estan

capacitats per aguantar els esforços generats en el



Figura 24. Catàleg del fabricant QTC dels engranatges elegits.

sistema giroscòpic, si més no, a continuació es comprovarà si són capaços de suportar-los. També es comprovarà si el motor dimensionat, amb aquests engranatges, serà suficient o no per portar el disc d'inèrcia a la velocitat de rotació requerida.

A continuació es mostren les característiques principals dels engranatges elegits:

Taula 6. Característiques de l'engranatge del motor (engranatge 1).		
Fabricant	QTC	
Nº referència	KPS1.5-60J10	
	Símbol	Valor
Número de dents	z_1	60
Mòdul (amplada de la dent)	m_b	1,5
Angle de pressió	$\alpha_p (^{\circ})$	20
Radi de base	$r_{b1} \text{ (mm)}$	45
Diàmetre interior	$D_{int1} \text{ (mm)}$	10
Massa engranatge	$m_1 \text{ (kg)}$	0,13

Taula 7. Característiques de l'engranatge del disc d'inèrcia (engranatge 2).		
Fabricant	QTC	
Nº referència	KPS1.5-40J15	
	Símbol	Valor
Número de dents	z_2	40
Mòdul (amplada de la dent)	m_b	1,5
Angle de pressió	$\alpha_p (^{\circ})$	20
Radi de base	$r_{b2} \text{ (mm)}$	30
Diàmetre interior	$D_{int2} \text{ (mm)}$	15
Massa engranatge	$m_2 \text{ (kg)}$	0,062

A partir de les dades de les taules es calcularà el següent:

Alçada de la dent (h):

És un paràmetre que no ens afectarà en el càlcul d'esforços però que serà essencial pel modelatge que es realitzi. Tenint en compte que té una alçada estàndard, es calcularà amb la següent equació:

$$h = 2,25 \cdot m_b \quad \text{eq.16}$$

$$h = 2,25 \cdot 1,5 = 3,375 \text{ mm}$$

Gruix de base (S_b):

Tindrà un únic valor pels dos engranatges, tal i com s'ha vist en l'alçada de la dent. Aquest valor serà essencial pel modelatge 3D que es realitzi de l'engrenatge.

$$S_b = \frac{19}{40} \cdot \pi \cdot m_b = 2,238 \text{ mm} \quad \text{eq.17}$$

Pas de base (p_b):

També serà un valor bàsic per dissenyar correctament els engranatges i que encaixin entre ells.

$$m_b = \frac{p_b}{\pi} \quad \text{eq.18}$$

$$p_b = 1,5 \cdot \pi = 4,7124 \text{ mm}$$

Radis de funcionament (r_{f1} i r_{f2}):

Aquests radis són essencials per calcular les forces i els esforços donat que són els radis que realment importen, ja que simulen les circumferències en contacte dels dos engranatges.

$$\cos \alpha_p = \frac{r_b}{r_f} \quad \text{eq.19}$$

$$\cos \alpha_p = \frac{r_{b1}}{r_{f1}}; \quad r_{f1} = \frac{45}{\cos(20)} = 47,89 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha_p = \frac{r_{b2}}{r_{f2}}; \quad r_{f2} = \frac{30}{\cos(20)} = 31,93 \text{ mm}$$

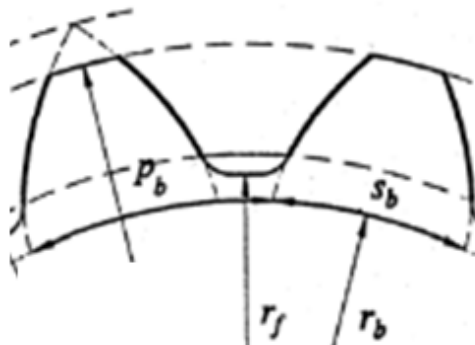


Figura 25. Característiques de l'engrenatge.

Moment d'inèrcia engranatges:

S'haurà de calcular el moment d'inèrcia de l'engranatge 1 i 2 per poder desenvolupar el conjunt d'inèrcies posteriorment. Tot i no tenir la precisió exacta, el moment d'inèrcia de cada engranatge s'extraurà d'una aproximació que és el moment d'inèrcia de l'eix z d'un cilindre o bé disc homogeni i massís (equació 20).

$$I_{zz} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad \text{eq.20}$$

$$I_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot r_{f1}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,13 \cdot 0,04789^2 = 1,491 \cdot 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot r_{f2}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,062 \cdot 0,03193^2 = 3,1605 \cdot 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Relació de transmissió:

$$\tau = \frac{\omega_{sortida}}{\omega_{entrada}} = \frac{z_{entrada}}{z_{sortida}} \quad \text{eq.21}$$

$$\tau = \frac{z_1}{z_2} = \frac{60}{40} = 1,5$$

Moment d'inèrcia reduït:

Donat ja el pas previ de calcular les característiques dels engranatges i les seves relacions de transmissió, cal reduir el sistema a un eix a partir del moment d'inèrcia reduït. Per això farà falta la següent taula:

Taula 8. Dades de partida per calcular el moment d'inèrcia reduït.		
	Símbol	Valor
Inèrcia del disc	$I_{disc} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$	0,164
Inèrcia del rotor	$I_{rotor} \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$	$3,06 \cdot 10^{-4}$
Inèrcia engranatge 1	$I_1 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$	$1,491 \cdot 10^{-4}$
Inèrcia engranatge 2	$I_2 \text{ (kg} \cdot \text{m}^2)$	$3,1605 \cdot 10^{-5}$
Relació de transmissió	τ	1,5

S'ha de fer l'apunt que es negligeixen les inèrcies dels rodaments i dels retens i sol es tindran en compte les de la taula que són les més rellevants. Per calcular el moment d'inèrcia reduït, s'haurà d'aplicar la següent equació (22):

$$(E_k)_{sist} = \sum \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot (v_{G_i}^2) + \sum \frac{1}{2} \cdot I_{G_i} \cdot (\omega_i^2) = \frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \dot{\theta}^2 \quad \text{eq.22}$$

Aquesta equació s'aplicarà al sistema que es vol reduir, on la velocitat angular del disc serà la que es buscarà amb el seu moment d'inèrcia corresponent.

$$\frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega_{disc}^2 = \frac{1}{2} \cdot I_{disc} \cdot \omega_{disc}^2 + \frac{1}{2} \cdot I_{rotor} \cdot \omega_{motor}^2 + \frac{1}{2} \cdot I_1 \cdot \omega_{motor}^2 + \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega_{disc}^2$$

On:

$$\omega_{motor} = \frac{\omega_{disc}}{\tau}$$

$$\frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega_{disc}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,164 \cdot \omega_{disc}^2 + \frac{1}{2} \cdot 3,06 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\omega_{disc}^2}{\tau^2} + \frac{1}{2} \cdot 1,491 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\omega_{disc}^2}{\tau^2} + \frac{1}{2} \cdot 3,1605 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_{disc}^2$$

S'aïlla les inèrcies per igualar-les a la inèrcia reduïda de l'eix:

$$\frac{1}{2} \cdot I_{red} \cdot \omega_{disc}^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(0,164 + \frac{3,06 \cdot 10^{-4}}{1,5^2} + \frac{1,491 \cdot 10^{-4}}{1,5^2} + 3,1605 \cdot 10^{-5} \right) \cdot \omega_{disc}^2$$

$$I_{red} = 0,164 + \frac{3,06 \cdot 10^{-4}}{1,5^2} + \frac{1,491 \cdot 10^{-4}}{1,5^2} + 3,1605 \cdot 10^{-5} = \mathbf{0,16426 \, kg \cdot m^2}$$

6.2.2.1 Relació sistema transmissió engranatges-motor

Dins el dimensionat dels engranatges, serà fonamental comprovar si aquest tipus de transmissió pot ser compatible amb el motor que s'ha elegit, tenint en compte els requisits de parell i velocitat angular que es necessiten per fer girar el volant d'inèrcia i així doncs ser capaç d'estabilitzar la bicicleta.

Taula 9. Paràmetres de càlcul del sistema de transmissió

	Símbol	Valor
Velocitat angular disc	ω_{disc} (rad/s)	380
Temps d'acceleració	t (s)	25
Inèrcia reduïda de l'eix	I_{red} (kg·m ²)	0,16426
Relació de reducció	i	$\frac{2}{3}$
Eficiència transmissió	η	0,96
Angle de pressió	α_p (°)	20
Radi de funcionament engranatge 1	r_{f1} (mm)	47,89

Taula 10. Requisits del motor

	Símbol	Valor
Parell màxim arrencada	$M_{m\grave{a}x}$ (N·m)	4,94
Velocitat angular en règim permanent	$\omega_{m\grave{a}x}$ (rpm)	2590
Màxima càrrega radial soportable	$F_{Rm\grave{a}x}$ (N)	68

Primer de tot es comprovarà el parell necessari d'arrencada per poder portar el disc d'inèrcia a la velocitat angular nominal en el temps d'acceleració, tenint en compte la inèrcia reduïda de l'eix i la relació de transmissió.

Sabent que:

$$M = I \cdot \alpha$$

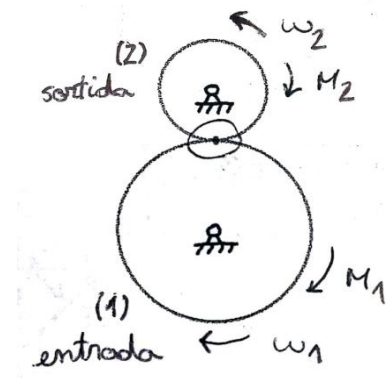


Figura 26. Parells i velocitats angulars en els engranatges.

Es pot resoldre el següent:

$$M_{disc} = M_2 = I_{red} \cdot \frac{\omega_{disc}}{t} \rightarrow M_{disc} = 0,16426 \cdot \frac{380}{25} = 2,4968 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Seguint l'equació (23), es pot saber el parell necessari d'arrencada que haurà de tenir el motor:

$$M_2 = M_1 \cdot i \cdot \eta \quad \text{eq.23}$$

$$2,4968 = M_1 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,96 \rightarrow M_1 = M_{\text{motor}} = 3,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{motor}} < M_{\text{màx}} \rightarrow 3,9 \text{ N} \cdot \text{m} < 4,94 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A posteriori es pot calcular la velocitat nominal que hi haurà del motor si el disc d'inèrcia gira a la velocitat angular prèviament calculada (apartat 6.1):

$$\omega_{\text{disc}} = 380 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{h}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cong 3629 \text{ rpm}$$

$$\tau = 1,5 = \frac{\omega_{\text{disc}}}{\omega_{\text{motor}}} \rightarrow \omega_{\text{motor}} = \frac{3629}{1,5} \cong 2419 \text{ rpm}$$

$$\omega_{\text{motor}} < \omega_{\text{màx}} \rightarrow 2419 \text{ rpm} < 2590 \text{ rpm}$$

Per últim, s'haurà de verificar que la càrrega radial que transmet l'engrenatge a l'eix del motor no supera el màxim establert. Per això s'haurà de calcular la força tangencial en l'engrenatge del motor, que és on es genera més parell i el més desfavorable, a partir d'aquesta equació:

$$M_{\text{màx}} = F_{t_1} \cdot r_{f_1} \rightarrow F_{t_1} = \frac{4,94}{0,04789} = 103,15 \text{ N}$$

Tenint la força tangencial es calcula la normal i la

radial, aquesta última es la que es necessitarà per verificar si hi ha excés de càrrega radial.

$$F_{N_1} = \frac{F_{t_1}}{\cos \alpha_p} = \frac{103,15}{\cos 20} = 109,77 \text{ N}$$

$$F_{r_1} = F_{t_1} \cdot \tan 20 = 37,5 \text{ N}$$

$$F_{r_1} < F_{R_{\text{màx}}} \rightarrow 37,5 \text{ N} < 68 \text{ N}$$

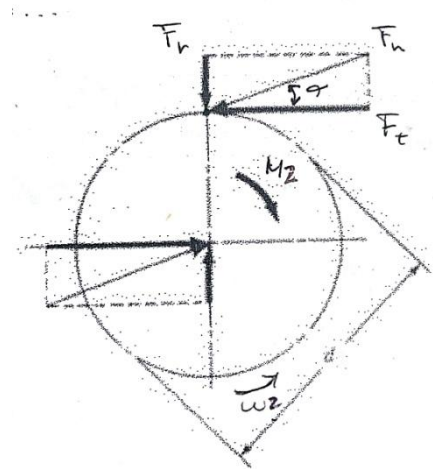


Figura 27. Les tres forces (tangencial, normal i radial) de l'engrenatge 1 aplicades a l'engrenatge 2.

6.2.2.2 Càlcul de la resistència d'una roda dentada

En aquest apartat s'estudiarà els dos casos principals de fallada a tenir en compte en un engranatge, aquests són els següents:

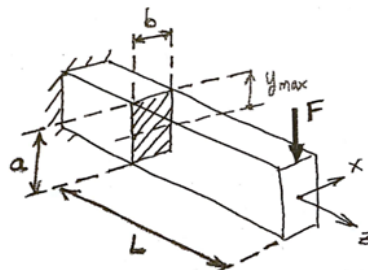
- Resistència a flexió d'una dent.
- Resistència a l'esforç de contacte entre dents.

Abans de calcular els casos però, s'haurà de conèixer les característiques del material dels engranatges:

Taula 11. Característiques del material MC901		
	Símbol	Valor
Tensió de flexió	σ_F (MPa)	110
Coefficient de poisson	μ	0,4
Mòdul d'elasticitat (compressió)	E (MPa)	3530
Tensió de compressió	$\sigma_{Hmàx}$ (MPa)	95

Esforç a flexió:

En aquest esforç cal destacar que la dent de l'engranatge és calculada com una biga en una mènscula (veure figura 28). També cal tenir en compte que el catàleg del fabricant ja ens informa del parell màxim sense arribar a la flexió de cada un dels engranatges, on:



$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y_{max}}{I_x}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F \cdot L \cdot a/2}{\frac{a^3 \cdot b}{12}}$$

Figura 28. Càlcul d'esforç a flexió d'una biga en mènscula.

$$M_{1max} = 8,14 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{2max} = 5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tot i així per assegurar el disseny i comprovar-lo, es realitzarà el càlcul que seguirà els passos del càlcul de la biga tal i com es veu a la figura 28.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_F}{C_s}$$

On $C_s=1,5$

$$\sigma_{max} = \frac{110}{1,5} = 73,33 \text{ MPa}$$

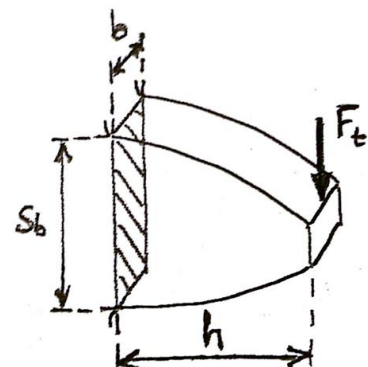


Figura 29. Paràmetres que intervenen en l'esforç de flexió de la dent.

Tenint la màxima tensió de flexió que es pot tenir a la dent, es calcula quina seria la força tangencial màxima que hauria d'aguantar el material.

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot F_{tmax} \cdot h}{S_b^2 \cdot b} \rightarrow F_{tmax} = \frac{73,33 \cdot 2,238^2 \cdot 15}{6 \cdot 3,375} = 272,06 \text{ N}$$

$$F_{tmax} > F_{t1} \rightarrow 272,06 \text{ N} > 103,153 \text{ N}$$

Resistència a l'esforç de contacte entre dents:

Primerament es calcularà aquest esforç a través de la pressió de Hertz, la qual té la següent equació:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{E^2}{\pi \cdot [E \cdot (1 - \mu^2) + E \cdot (1 - \mu^2)]} \cdot \frac{F_r}{b \cdot \frac{r_{f1} \cdot r_{f2}}{r_{f1} + r_{f2}}}} \quad \text{eq.24}$$

Substituint tots els valors s'obté:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{3530^2}{\pi \cdot [2 \cdot 3530 \cdot (1 - 0,4^2)]} \cdot \frac{37,54}{15 \cdot \frac{47,89 \cdot 31,93}{47,89 + 31,93}}} = 9,348 \text{ MPa}$$

Tenint el següent i amb $C_s=1,5$:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{Hmax}}{C_s} = \frac{95}{1,5} = 63,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H < \sigma_{adm} \rightarrow 9,348 \text{ MPa} < 63,3 \text{ MPa}$$

Per tant es pot concloure que els engranatges estan ben dimensionats junt amb el motor i poden suportar tots els tipus d'esforços tal i com s'ha vist en aquest càlculs previs.

6.2.3 Dimensionat controladora

Per controlar el motor en quan a parell i revolucions (corrent i voltatge), es necessitarà una controladora que es pugui programar i regular la corrent i el voltatge. Aquesta controladora haurà de permetre una tensió i corrent de treball que s'ajusti a la del motor.

El fabricant del motor (*Maxon*) ja facilita una sèrie de controladores que poden

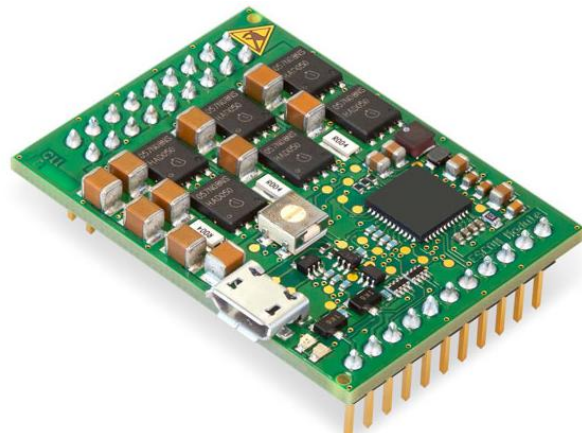


Figura 30. Controladora Maxon ESCON MOD 50/5.

ser compatibles amb aquest motor. Així doncs s'ha elegit una d'aquestes controladores que pugui satisfer les funcions bàsiques i garantir el rendiment del motor.

Aquesta controladora (veure figura 30) que s'ha escollit pot suportar motors elèctrics de fins a 250 W i permet múltiples funcions que se li poden controlar connectant-la a un ordinador. Per enumerar alguna d'aquestes funcions, es podria comentar el control de sentit de gir del motor, limitar la corrent, regular el voltatge, control de temperatura excessiva i de sobretensió, etc.

Disposa de quatre entrades (2 analògiques i 2 digitals), on se li pot connectar el motor, també encoders, sensors Hall i tacodinamos. En quan a les sortides també en té quatre, dos analògiques i dos digitals, les quals tenen diverses funcions com comparar velocitats, comparar corrents, control de temperatura, valor fix, etc.

A continuació es mostren les dades de la controladora:

Taula 12. Característiques de la controladora		
Fabricant	Maxon	
Component	Controladora ESCON Module 50/5, Servocontroladora 4-Q	
	Símbol i unitat	Valor
Tensió de treball (mín)	$V_{CC_{min}}$ (V)	10
Tensió de treball (màx)	$V_{CC_{max}}$ (V)	50
Corrent de sortida continua	I (A)	5
Pic de corrent de sortida (<20 segons)	$I_{màx}$ (A)	15
Rendiment màxim	η (%)	98
Pes	m (kg)	0,012
Longitud	L (mm)	43,2
Amplada	A (mm)	31,8
Altura	H (mm)	12,7

6.2.3.1 Arrencada sistema giroscòpic

Es evident que tot el procés i funcionament del sistema passarà per la controladora i aquesta, prèviament programada, respondrà segons les necessitats del motor, verificant cada instant la corrent i voltatge que se li transmet.

Tot i així el parell d'arrencada que hauria de fer el motor (70 A, veure taula 4) durant el temps d'arrencada del disc d'inèrcia no el pot suportar la controladora, ja que sol pot

efectuar un pic de corrent de 15 A (veure taula 12) durant menys de 20 segons. Això es solucionarà entrant la corrent des de l'alimentació a un dispositiu regulador d'aquesta i a posteriori al motor durant el temps d'arrencada i després ja es dirigeix cap a la controladora treballant a una intensitat en continua de 5A o a la corrent que estigui programada.

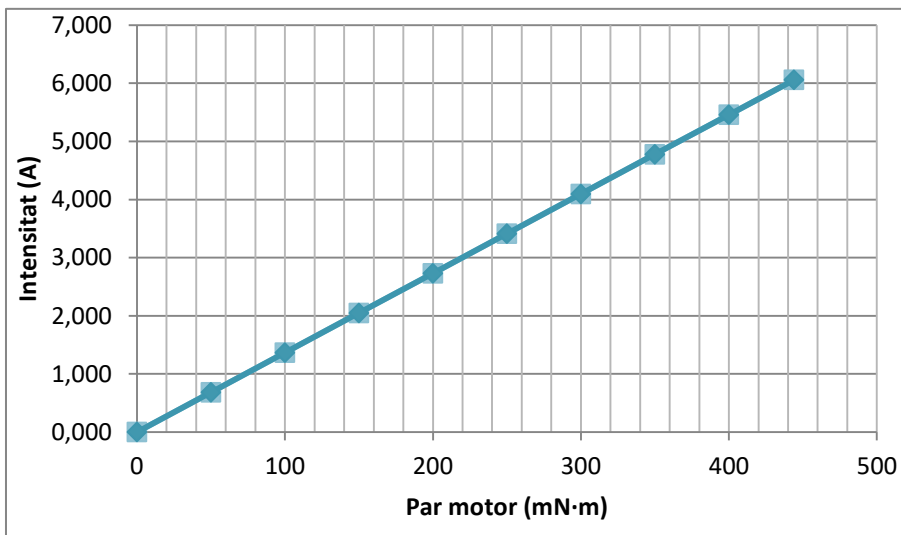
6.2.3.2 Funcionament del motor

Una vegada la controladora estigui treballant, aquesta necessitarà diversa informació del motor, però haurà de saber les característiques del motor en quan a relacions d'intensitat amb parell, voltatge amb revolucions i parell amb revolucions. Per calcular aquestes relacions és bàsic conèixer que:

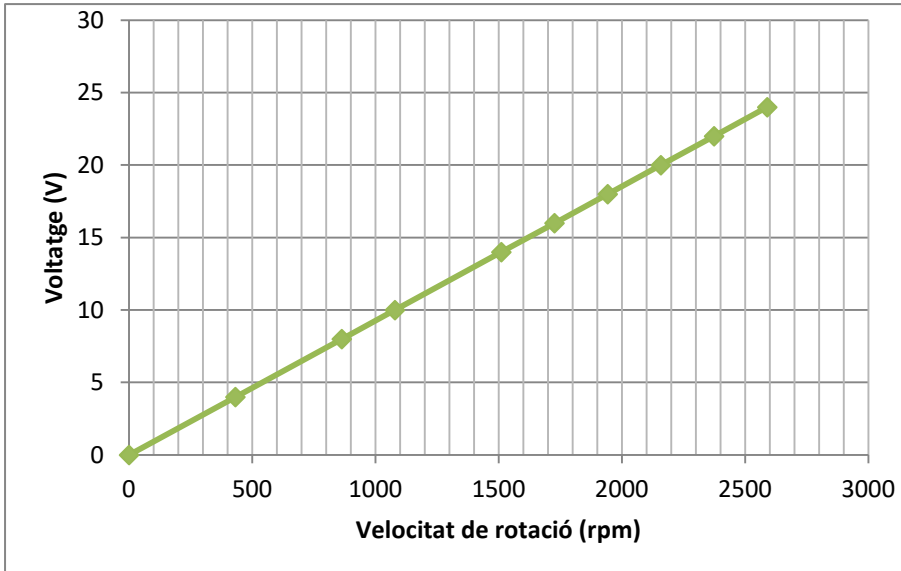
$$Potència (W) = M \cdot \omega \quad \text{eq.25}$$

On el moment (M) està en N·m i la velocitat angular (w) en rad/s.

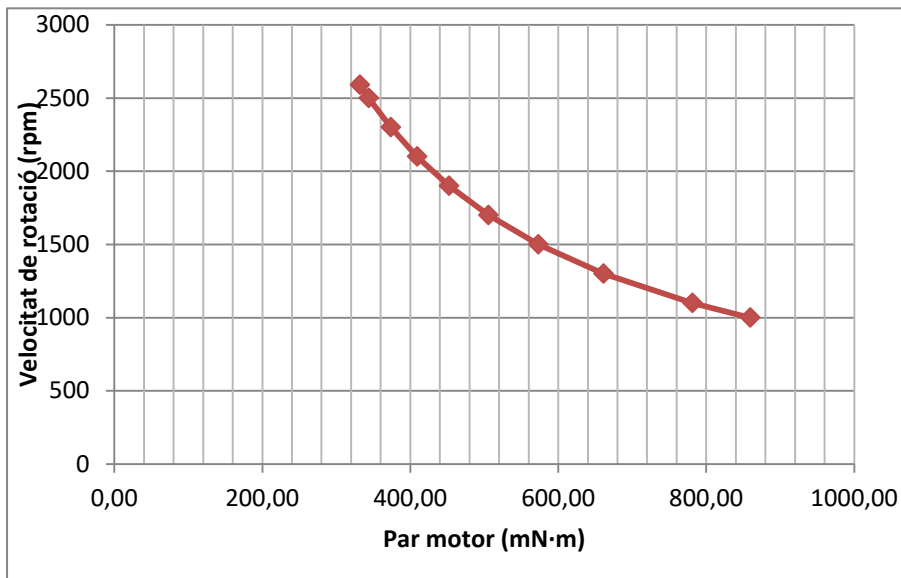
A partir de les dades de la taula 4 i de l'equació 25 es poden fer les gràfiques per veure el treball del motor en funció d'aquestes relacions i tenir els valors que se li haurien d'entrar a la controladora per executar un cert parell a unes revolucions determinades en un instant. Es mostren a continuació les gràfiques de les relacions:



Parell	Intensitat
444	6,060
400	5,459
350	4,777
300	4,094
250	3,412
200	2,730
150	2,047
100	1,365
50	0,682
0	0,000



Revolucions	Voltatge
2590	24
2374	22
2158	20
1943	18
1727	16
1511	14
1079	10
863	8
432	4
0	0



Parell	Revolucions
331,83	2590
343,77	2500
373,67	2300
409,26	2100
452,34	1900
505,55	1700
572,96	1500
661,11	1300
781,31	1100
859,44	1000

6.2.3.3 Regulació i control del motor

Havent realitzat les gràfiques i un cop s'ha obtingut la informació necessària, es procedeix a desenvolupar l'objectiu del funcionament controladora-motor. Aquest objectiu serà aconseguir regular la velocitat de gir del disc (és a dir del motor) en funció de la velocitat que vagi el ciclista.

La utilitat de regular la velocitat del motor en funció de la velocitat de la bicicleta és que asseguri



Figura 31. Sensor Hall Hamlin 55100.

l'equilibri de l'usuari a velocitats baixes de la bicicleta i a velocitats altes poder optimitzar l'ús del sistema giroscòpic. Aquest control del motor a partir de la velocitat de la bicicleta es farà a través d'un sensor Hall (veure figura 31) el qual estarà ficat a la carcassa exterior de la roda i connectat directament a la controladora. A fora, hi haurà un material magnètic unit a la forquilla que farà que el sensor a cada volta el detecti i així saber la velocitat de rotació de la roda i en conseqüència la velocitat lineal de la bicicleta.

El sensor Hall tindrà les següents característiques:

Taula 13. Característiques sensor Hall	
Fabricant	Hamlin
Sèrie	55100
Rang de voltatge (V)	+3,8 a +24
Consum d'intensitat (mA)	1,6 a 5,2
Distància màxima de lectura (mm)	12,5
Llargada (mm)	25,5
Amplada (mm)	11
Espessor (mm)	3

Per tant, havent escollit el sensor Hall per mesurar la velocitat de la bicicleta, s'haurà d'aproximar quines velocitats de la bicicleta activaran o desactivaran el sistema giroscòpic. Es necessitarà però unes equacions bàsiques per convertir la lectura del sensor Hall a la velocitat lineal de la bicicleta. Així que cada cop que el sensor detecti l'objecte magnètic contarà una volta, la qual serà convertida a través del diàmetre de la roda a velocitat lineal de la bicicleta. Tot seguit es mostra un exemple de lectura del sensor Hall:

$$1 \text{ puls sensor per segon} = 1 \text{ volta roda per segon}$$

$$1 \text{ volta/s} = 2\pi \text{ rad/s}$$

$$v = \omega \cdot r \rightarrow v = 2\pi \cdot 0,3685 = 2,315 \frac{m}{s}$$

$$2,315 \frac{m}{s} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 8,34 \frac{km}{h}$$

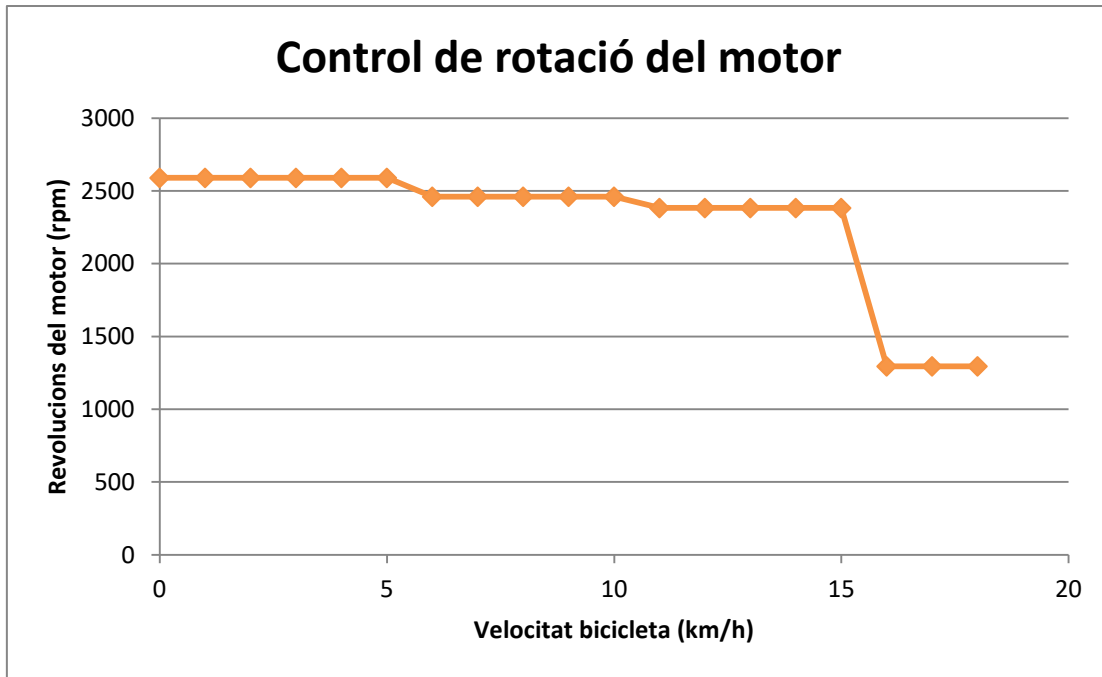
Seguint aquest exemple de conversió, es farà una gràfica on la controladora regularà el voltatge del motor en funció dels polsos per segon que rebi. El voltatge del motor

però es convertirà a revolucions del motor i els polsos en velocitat lineal de la bicicleta per fer-ho més visual com actuarà el control en la bicicleta. Tot i així a la controladora se li introduirà en voltatge donat que haurà d'anar comparant el voltatge del motor amb els polsos que li arribin del sensor. Cal apuntar que hi haurà tres fases dins la regulació de control del motor:

- Arrencada: la controladora no intervé en aquest temps d'acceleració i la corrent va directe al motor.
- Règim permanent: en aquest moment la controladora se'n fa càrrec de tot el sistema i va regulant les prestacions del motor, de 0 a 15 km/h.
- Velocitat lineal adquirida: un cop la velocitat és superior a 15 km/h la velocitat de rotació del motor es veu reduïda al 50%.

L'encès i apagat del motor (ON/OFF) estarà comandat des del manillar a distància, per què l'usuari pugui apagar el sistema giroscòpic o posar-lo en funcionament quan ell ho cregui convenient segons les seves necessitats.

A continuació es té la gràfica de control que tindrà el sistema, fent que a partir de 15 km/h es redueixi fins al 50% de la velocitat nominal del motor ja que s'ha considerat que és una velocitat suficient per tenir equilibri i el sistema només podria molestar a l'usuari a l'hora de maniobrar la bicicleta. Es deixa al 50% per evitar que es pari del tot el sistema i en el cas que redueixi la velocitat l'usuari, el sistema pugui recuperar altes revolucions en el disc d'inèrcia en el menor temps possible i menor consum, és a dir, el mínim pic d'intensitat possible.



Resumint la gràfica del control del motor, es pot afirmar que hi haurà quatre rangs de treball del motor segons la velocitat de la bicicleta :

$$0 - 5 \frac{km}{h} \rightarrow 100\% \text{ velocitat nominal de rotació}$$

$$6 - 10 \frac{km}{h} \rightarrow 95\% \text{ velocitat nominal de rotació}$$

$$11 - 15 \frac{km}{h} \rightarrow 92\% \text{ velocitat nominal de rotació}$$

$$> 15 \frac{km}{h} \rightarrow 50\% \text{ velocitat nominal de rotació}$$

Aquests intervals estan determinats a partir de les necessitats del problema del sistema giroscòpic i estan establerts per assegurar el funcionament d'aquest. A més velocitat s'anirà reduint la velocitat del motor. Això passarà fins als 15 km/h, on a partir d'aquesta xifra, es disminuirà l'efecte giroscòpic, degut a la inèrcia lineal del ciclista.

6.2.3.4 Placa mare

La controladora s'haurà de connectar amb alguna placa mare per què aquesta ja tingui les connexions necessàries pel

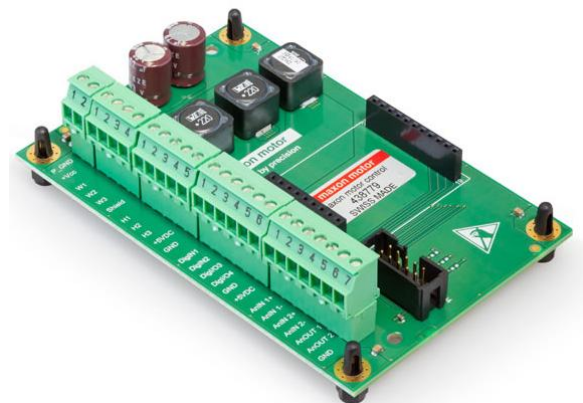


Figura 32. Placa mare Maxon.

correcte funcionament de tot el conjunt. El propi fabricant *Maxon* ja facilita una placa mare (figura 32) preparada especialment per aquesta controladora i per tant s'escollirà aquesta.

Aquesta placa mare té les següents característiques:

Taula 14. Característiques placa mare	
Fabricant	Maxon
Component	ESCON Module Motherboard (438779)
Llargada (mm)	110
Amplada (mm)	72
Alçada (mm)	23,6
Pes (kg)	0,083

6.2.4 Dimensionat rodaments

Els rodaments permeten el gir d'un component respecte l'altre, en aquest cas s'aplicarà en diferents elements al llarg de l'eix de la roda del sistema giroscòpic. Aquest eix es considerarà un eix passant fix en el qual hauran de girar respecte aquest, el volant d'inèrcia i la carcassa junt amb la roda.

És important dimensionar uns rodaments que tinguin una bona construcció i fabricació ja que així es podrà garantir una vida útil llarga dels rodaments si es té un bon manteniment i lubricació d'aquests. Així que s'optarà per triar uns rodaments que donin la màxima fiabilitat i rendiment possible.

Es podrà diferenciar dos tipus de rodaments en aquest sistema giroscòpic, hi haurà els rodaments d'agulles que estaran suportant i permetent el gir de la carcassa i la roda i després hi haurà un rodament al centre de l'eix, de doble filera de boles de contacte angular (figura 33), que permetrà el gir del disc d'inèrcia respecte l'eix passant fix.

En els següents apartat es mostren les característiques de cada rodament i els seus respectius càlculs per comprovar si suportaran els esforços que puguin tenir durant el



Figura 33. Rodament de boles de contacte angular

funcionament d'aquest sistema. Però abans es mostraran els esforços que suporta l'eix junt amb els rodaments.

Seguint els eixos de coordenades de l'anàlisi dinàmic 3D i els moments resultants de la roda davantera, es té les següents figures (34 i 35) que mostren les forces que suporten els rodaments en cada un dels plans:

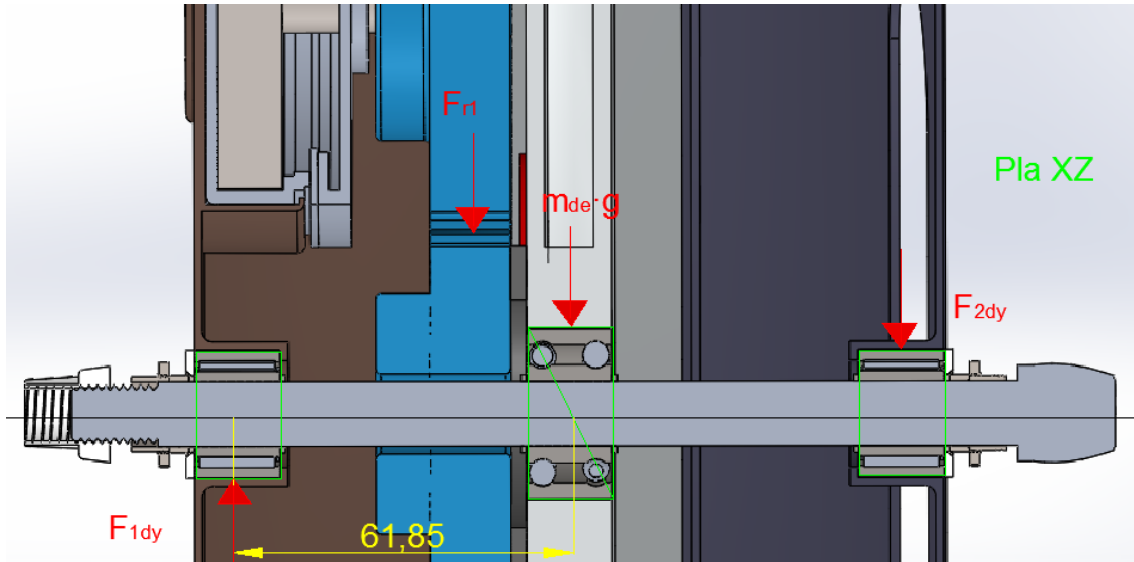


Figura 34. Esforços sobre els rodaments del PLA XZ (cotes en mm).

En la figura 34 intervé el pes del disc i de l'engranatge adjunt al disc radialment sobre el rodament de boles, també està la força radial de l'engranatge aplicada en aquest rodament. En quan als rodaments d'agulles, intervé el moment davanter de l'eix y que provoca unes forces radials sobre aquests a una distància del centre determinada. Aquestes forces provocades pel moment es calculen de la següent manera, sabent que (veure taula 3):

$$M_{dy} = 74,23 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_{1dy} = -F_{2dy}$$

$$M_{dy} = F_{1dy} \cdot 0,06185$$

$$F_{1dy} = -F_{2dy} = \frac{74,23}{0,06185} = 1200,2 \text{ N}$$

Pel que fa a les demés forces, de la figura 34, seran:

$$F_{r1} = 37,5 \text{ N} \quad (\text{extret de l'apartat de dimensionat d'engranatges})$$

$$m_{de} \cdot g = 5 \cdot g \cong 50 \text{ N}$$

En la figura 35 es pot veure l'esforç que actua axialment en el rodament de boles en el pla YZ. No s'ha indicat els esforços radials de l'eix donat que ja s'han donat els més desfavorables en l'anterior figura.

L'esforç serà produït pel gir del manillar que provoca un moment en el disc d'inèrcia que pot donar un cert joc en el rodament. Per calcular l'esforç, caldrà conèixer el valor del moment (veure taula 3):

$$M_{dx} = 93,48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Aquest moment s'aplica a l'extrem del disc per tant ja sabem la distància que hi haurà al centre (0,27 m) i es pot calcular l'esforç:

$$M_{dx} = F_{dx} \cdot 0,27$$

$$F_{dx} = \frac{93,48}{0,27} = 346,2 \text{ N}$$

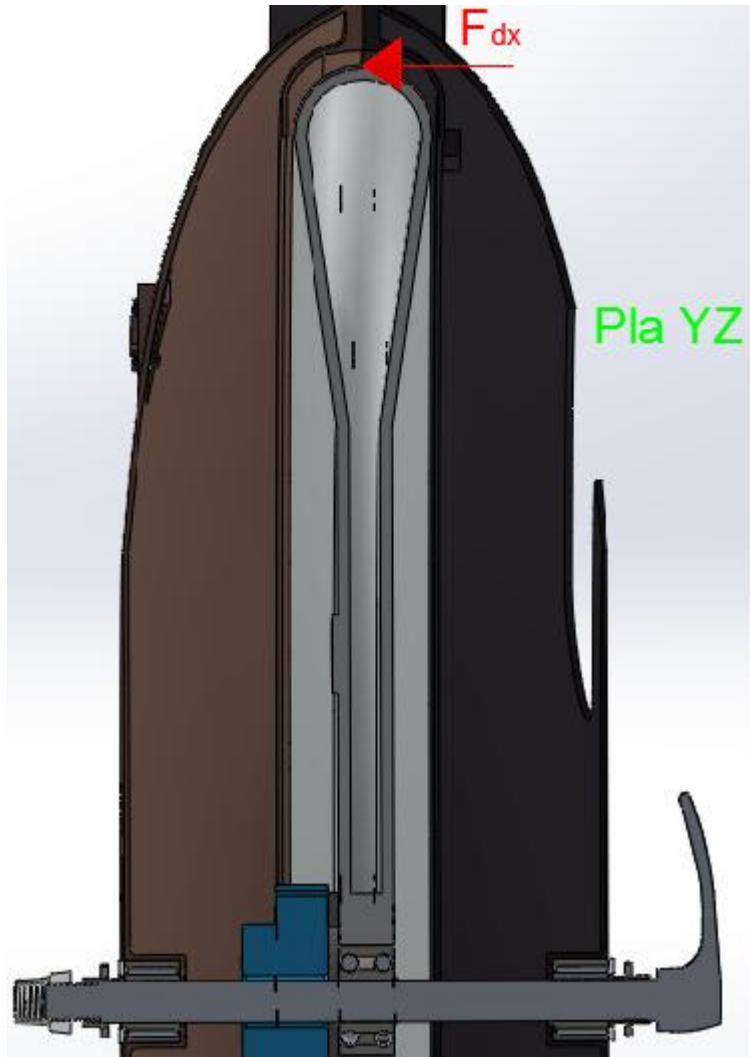


Figura 35. Esforç del rodament de boles del PLA YZ.

6.2.4.1 Rodament de doble filera de boles de contacte angular

Aquest rodament ha de permetre el gir entre el disc d'inèrcia i l'eix fix. Es tractarà d'un únic rodament que estarà localitzat al centre de l'eix passant (fixat per dos anells elàstics AE12 (veure Annex B), un a cada cantó) i serà de doble filera de boles de contacte angular per suportar tan esforços radials com esforços axials. És a dir, podrà suportar tant esforços verticals com horitzontals.

S'ha cregut convenient triar aquest tipus de rodament, i que pugui suportar esforços axials, per quan s'inclina la bicicleta i el pes del disc mostra una component horitzontal que pot afectar el rodament. Les característiques del rodament són les següents:

Taula 15. Característiques del rodament de doble filera de boles de contacte angular.

Fabricant	FAG	
Nº referència	3201B,TVH	
	Símbol	Valor
Diàmetre interior	d_b (mm)	12
Diàmetre exterior	D_b (mm)	32
Angle de contacte angular	α ($^\circ$)	25
Amplada	A_b (mm)	15,9
Massa rodament de boles	m_b (kg)	0,051
Capacitat de carga dinàmica	$C_{bm\grave{a}x}$ (kN)	10,6
Capacitat de caga estàtica	$Co_{bm\grave{a}x}$ (kN)	5,85

Amb les característiques del rodament que s'ha elegit, ja es poden fer els càlculs, aquests bàsicament seran dos càlculs, un a sol·licitació dinàmica i un a sol·licitació estàtica. Pel que fa a les revolucions màximes permeses, no caldrà comparar-les amb les actuals, ja que aquests rodaments poden arribar a girar a unes 20000 rpm, una xifra a la qual de cap manera s'arribarà en aquest sistema giroscòpic.

Ambdós càlculs són basats en informació i equacions que proporciona el mateix fabricant dins el catàleg (Annex B) i dins la secció de rodaments, on segons els valors de les forces que es tinguin al sistema o les exigències que es vulguin es triaran unes equacions o unes altres.

Sol·licitació dinàmica:

Aquest càlcul permet saber la vida útil del rodament de mitjana suportant aquests esforços.

La força axial serà la prèviament calculada (F_{dx}). En quan a la força radial es considerarà el pes del conjunt, esmentat abans, més la força radial que exerceix el sistema d'engranatges sobre el disc, per tant sobre el rodament. Es tindrà els següents valors:

$$F_{axial} = 346,2 \text{ N}$$

$$F_{radial} = 50 + 37,54 = 87,54 \text{ N}$$

El catàleg esmenta que si la divisió entre la força axial i la força radial es superior a 0,68 es tindrà que calcular la sol·licitació a través de la següent equació:

$$\frac{F_{axial}}{F_{radial}} > 0,68 \rightarrow P = 0,67 \cdot F_{radial} + 1,41 \cdot F_{axial}$$

$$P = 0,67 \cdot 0,08754 + 1,41 \cdot 0,3462 = 0,5468 \text{ kN}$$

Un cop es té P, es passa a l'equació on es calcula la vida útil del rodament, on p serà de valor 3, ja que és un rodament de boles:

$$L = \left[\frac{C_{bmàx}}{P} \right]^p \cdot 10^6 \text{ revolucions} = \left[\frac{10,6}{0,5468} \right]^3 \cdot 10^6 = 7,3 \cdot 10^9 \text{ revolucions}$$

On:

$$w_{disc} = 3629 \text{ rpm}$$

Llavors s'obté la vida útil del rodament:

$$\frac{7,3 \cdot 10^9 \text{ rev}}{3629 \text{ rpm}} = 2007520 \text{ min} \cong 4 \text{ anys}$$

Sol·licitació estàtica

En el càlcul de sol·licitació estàtica es dimensiona el rodament i es verifica que pot suportar les càrregues quan el sistema està en parat i no pas en funcionament com era a la sol·licitació dinàmica. Tant la força axial com la radial seran les mateixes que s'han aproximat en l'anterior càlcul:

$$F_{axial} = 346,2 \text{ N}$$

$$F_{radial} = 50 + 37,54 = 87,54 \text{ N}$$

El catàleg ens facilita la següent equació, tenint en compte que el rodament és del tipus 32b amb boles de contacte angular de 25°:

$$P_o = F_{radial} + 0,76 \cdot F_{axial}$$

$$P_o = 0,08754 + 0,76 \cdot 0,3462 = 0,351 \text{ kN}$$

Ja tenint aquest últim valor i considerant que aquest rodament estarà sotmès a exigències normals, f_s tindrà valor 1:

$$f_s < \frac{C_{obmàx}}{P_o}$$

$$P_o < C_{obmàx} \rightarrow 0,351 \text{ kN} < 5,85 \text{ kN}$$

6.2.4.2 Rodament d'agulles amb anell interior

Aquest rodament ha de permetre el gir entre la carcassa de la llanta i l'eix fix. Es tractarà de dos rodaments que estaran localitzats un a cada extrem de l'eix de la roda i fixats per anells elàstics AE12 en la part interior i per la part exterior amb tapes i obturadors (com un con d'acer i una femella). Aquest rodament s'ha elegit d'agulles per aprofitar el màxim l'espai als extrems, ja que tenen poca secció, i garantint igualment el rendiment de la seva funció dins la roda. El rodament d'agulles únicament és capaç de suportar esforços radials, és a dir suportar forces verticals.

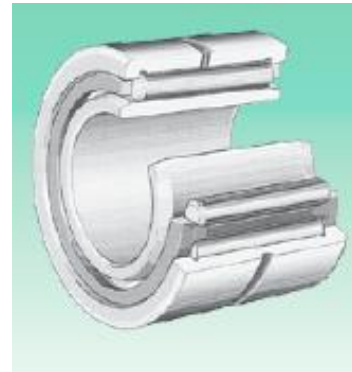


Figura 36. Rodament d'agulles

Taula 16. Característiques del rodament d'agulles amb anell interior

Fabricant		SKF
Nº referència		NKI 12/16
	Símbol	Valor
Diàmetre interior	d_a (mm)	12
Diàmetre exterior	D_a (mm)	24
Amplada	A_a (mm)	16
Massa rodament d'agulles	m_a (kg)	0,0333
Capacitat de carga dinàmica	$C_{amàx}$ (kN)	10,8
Capacitat de caga estàtica	$Co_{amàx}$ (kN)	13,1

Amb les característiques del rodament que s'ha elegit, ja es poden fer els càlculs, aquests bàsicament seran dos càlculs, un a sol·licitació dinàmica i un a sol·licitació estàtica, tal i com s'ha realitzat en el rodament de boles. Pel que fa a les revolucions màximes permeses, no caldrà comparar-les amb les actuals, ja que aquests rodaments poden arribar a girar a unes 20000 rpm, una xifra a la qual de cap manera s'arribarà.

Sol·licitació dinàmica

Aquest càlcul permet saber la vida útil del rodament de mitjana suportant aquests esforços.

La força axial es negligeix, ja que és d'un valor ínfim. Aquest valor ínfim és gràcies a que les dos llantes estan unides a través de cargols i per la part exterior estan suportades per elements exteriors (rosca, con, etc.). La força radial és la prèviament calculada (F_{1dy}):

$$F_{radial} = 1200,2 \text{ N} = 1,2 \text{ kN}$$

El catàleg ens detalla la següent equació per aquest tipus de rodament:

$$P = F_{radial} = 1,2 \text{ kN}$$

Un cop es té P, es passa a l'equació on es calcula la vida útil del rodament, on p serà de valor 10/3, ja que és un rodament d'agulles:

$$L = \left[\frac{C_{amàx}}{P} \right]^p \cdot 10^6 \text{ revolucions} = \left[\frac{10,8}{1,2} \right]^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6 = 1,52 \cdot 10^9 \text{ revolucions}$$

On s'haurà d'aproximar una velocitat mitjana de la bicicleta per així tenir una velocitat angular de mitjana i poder saber el temps de vida útil dels rodaments d'agulles de la roda de mesura 29":

$$v_m = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow 5,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$r = 0,36; v_m = \omega_m \cdot r \rightarrow 5,56 = \omega_m \cdot 0,3685$$

$$\omega_m = 15,09 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \rightarrow 144 \text{ rpm}$$

Llavors s'obté la vida útil del rodament:

$$\frac{1,52 \cdot 10^9 \text{ rev}}{144 \text{ rpm}} = 10530424 \text{ min} \cong 20 \text{ anys}$$

Sol·licitació estàtica

En el càlcul de sol·licitació estàtica es dimensiona el rodament i es verifica que pot suportar les càrregues quan el sistema està en parat i no pas en funcionament, com era a la sol·licitació dinàmica.

La força radial serà la mateixa que s'ha aproximat en l'anterior càlcul:

$$F_{radial} = 1200,2 \text{ N} = 1,2 \text{ kN}$$

El catàleg ens facilita la següent equació, tenint en compte que el rodament és d'agulles:

$$P_o = F_{radial}$$

$$P_o = 1,2 \text{ kN}$$

Ja tenint aquest últim valor i considerant que aquest rodament estarà sotmès a exigències reduïdes, f_s tindrà valor 0,7:

$$f_s < \frac{C_{oamàx}}{P_o}$$

$$P_o < C_{oamàx} \rightarrow 0,84 \text{ kN} < 13,1 \text{ kN}$$

Per tant es pot concloure en el dimensionat de rodaments que ambdós tipus de rodaments, tant el de boles com el d'agulles seran capaços de suportar qualsevol tipus d'esforç dins el sistema giroscòpic i podran donar el màxim rendiment possible ja que no es sotmeten a una exigència molt alta tal i com s'ha pogut veure en els càlculs previs.

Tot i que s'ha d'apuntar que el rodament de boles en la sol·licitació dinàmica no dóna resultats molt satisfactoris. Això és ocasionat pel càlcul d'aquest, on s'ha determinat constant un moment el qual només succeeix en moments puntuals. Per tant no hi haurà cap problema en ficar aquest rodament en el sistema giroscòpic.

6.2.5 Dimensionat alimentació

En l'alimentació s'ha triat 3 bateries LI-PO de 11,1 V que hauran d'alimentar tant el motor, com el sensor Hall i els LED'S, els quals indicaran l'estat de la bateria.

Taula 17. Característiques de les bateries

Component	Bateria Li-Po
Voltatge (V)	11,1
Capacitat (mAh)	3200
Tassa descàrrega en continu (A)	64
Tassa descàrrega màxima (A)	128
Pes (kg)	0,27
Llargada (mm)	136
Amplada (mm)	43
Espessor (mm)	20

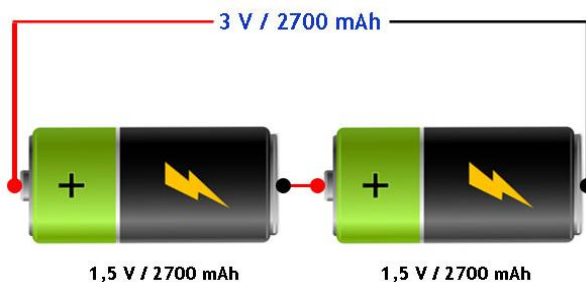
S'han escollit bateries Li-Po ja que destaquen per la seva lleugeresa i poc volum, un tret bastant important a destacar. Però també ofereixen un bon voltatge i capacitat que fa que es pugui allargar el temps d'ús.

Pel que fa a la connexió amb els díodes LED, hi haurà un de verd i un de roig. El verd estarà sempre encès fins que s'arribi al 20% de la capacitat de tota l'alimentació que llavors s'encendrà el roig per avisar a l'usuari de bateria baixa. Aquests díodes tenen les següents característiques:

Taula 18. Característiques díode LED	
Voltatge (V)	2,5
Consum (mA)	45
Diàmetre (mm)	5

Les bateries seran connectades en sèrie (figura 37) per sumar voltatge (33,3V en total) i el valor d'intensitat es mantindrà.

La connexió en sèrie es tracta d'anar connectant el pol positiu d'una bateria al pol negatiu de l'altra i així consecutivament fins a tancar el bucle i llavors connectar-ho a la



placa mare. S'ha optat per sumar voltatge ja que el motor implica un alt rang de voltatge i es prioritza el voltatge abans que la capacitat d'intensitat.

Figura 37. Exemple de connexió en sèrie.

Pel que fa al consum d'intensitat les bateries tindran una capacitat de 3200 mAh. Això per tenir una idea és consumir 3,2 A durant una hora. Per saber si serà suficient es farà una comprovació i una simulació d'ús per veure el consum que hi haurà en el sistema.

6.2.5.1 Simulació del consum d'intensitat

En aquesta simulació s'estudiarà el consum del motor, del díode LED i del sensor Hall, el consum dels tres no haurà de sobrepassar la capacitat de l'alimentació.

Consum del motor:

Hi haurà dos parts en aquesta simulació: l'arrencada i el funcionament del sistema durant un determinat temps.

Arrencada del sistema:

$$\text{Pic intensitat} \cdot \text{temps acceleració}$$

On:

$$\text{temps acceleració} = 25s \times \frac{1h}{3600s} = 6,944 \cdot 10^{-3} h$$

$$\text{Pic intensitat} = 70 A \times \frac{1000 mA}{1 A} = 70000 mA$$

$$70000 \cdot 6,944 \cdot 10^{-3} = 486,11 mAh$$

$$\frac{486,11 mAh}{3200 mAh} \times 100 = 15,19\%$$

Funcionament del sistema:

Dins d'aquest funcionament hi haurà la part de control de la controladora, la qual estarà en ús quan el motor estigui en règim permanent de rotació. Per tant es veurà la fase del règim nominal que té el motor en aquest projecte (l'altra fase és l'arrencada del motor).

Així doncs es determina una simulació d'una sortida de bicicleta d'un usuari que utilitza la bicicleta durant 20 min on en aquests minuts hi haurà diferents rangs de velocitat. S'estima una situació dels quatre rangs de velocitat (veure gràfica apartat regulació i control del motor) que tindrà l'usuari de mitjana:

- 0-5 km/h: l'usuari estarà 3 min en aquesta velocitat.
- 6-10 km/h: l'usuari estarà 5 min en aquesta velocitat.
- 11-15 km/h: l'usuari estarà 7 min en aquesta velocitat.
- >15 km/h: l'usuari estarà 5 min en aquesta velocitat.

En els rangs de velocitats, es té en compte la intensitat que es consumeix en cada un d'aquests. Si més no, un cop s'ha arrencat el sistema, el motor sol haurà d'acompanyar el disc i haurà de vèncer el fregament del motor entre altres pèrdues d'aquest. Aquestes pèrdues acostumen a ser entre un 1 i un 5%. Per això el consum d'intensitat es reduirà proporcionalment quan la velocitat del motor es vegi reduïda.

$$100\% \omega_{motor} \rightarrow 0 - 5 \frac{km}{h} \rightarrow 4,53 A$$

$$95\% \omega_{motor} \rightarrow 6 - 10 \frac{km}{h} \rightarrow 4,3 A$$

$$92\% \omega_{motor} \rightarrow 11 - 15 \frac{km}{h} \rightarrow 4,17 A$$

$$50\% \omega_{motor} \rightarrow > 15 \frac{km}{h} \rightarrow 2,27 A$$

Sabent el temps en que estarà treballant a cada rang i a la tensió a la que estarà treballant es desenvolupa el càlcul del consum d'intensitats del motor (es desestima el pic d'intensitat per tornar a revolucionar el disc després de tornar a la zona de <15 km/h):

100% velocitat nominal:

$$4530 mA \cdot 3 min \times \frac{1 h}{60 min} = 226,5 mAh$$

95% velocitat nominal:

$$4300 mA \cdot 5 min \times \frac{1 h}{60 min} = 358,33 mAh$$

92% velocitat nominal:

$$4170 mA \cdot 7 min \times \frac{1 h}{60 min} = 486,5 mAh$$

50% velocitat nominal:

$$2270 mA \cdot 5 min \times \frac{1 h}{60 min} = 189,17 mAh$$

Llavors el consum total en aquesta part del funcionament del sistema serà:

$$Consum nominal = 226,5 + 358,33 + 486,5 + 189,17 = 1260,5 mAh$$

$$Consum total motor = Consum_a + Consum_n = 486,11 + 1260,5 = \mathbf{1746,61 mAh}$$

Consum díode LED:

El díode LED té un consum de 45 mA (veure taula 18) i si la simulació de la sortida de l'usuari dura 20 min, es consumirà:

$$\text{Consum total díode} = 45 \text{ mA} \cdot 20 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \mathbf{15 \text{ mAh}}$$

Consum sensor Hall:

El sensor Hall té un consum de 5,2 mA (veure taula 13). Durant 20 min de la simulació el sensor consumirà:

$$\text{Consum total sensor Hall} = 5,2 \text{ mA} \cdot 20 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = \mathbf{1,73 \text{ mAh}}$$

Consum total:

$$\text{Consum total simulació}_{teòric} = 1746,61 + 15 + 1,73 = 1763,34 \text{ mAh}$$

S'aplicarà un coeficient de 0,7 per simular les accions externes que puguin afectar la vida útil de la bateria.

$$\text{Consum total simulació}_{real} = \frac{\text{Consum total simulació}_{teòric}}{0,7} = \frac{1763,34}{0,7} \cong \mathbf{2519 \text{ mAh}}$$

Per tant no arribarà a consumir la totalitat de l'alimentació de 3200 mAh.

Com a conclusió del dimensionat de l'alimentació es pot afirmar que el sistema giroscòpic tindrà una durada aproximada de una mica més de 20 min si es segueix la situació definida prèviament en la simulació.

S'ha de remarcar que l'arrencada del motor suposa un gran consum i s'emporta un 15,19% de la capacitat total d'alimentació, tot i ser només 25 segons.

7. Pressupost

En aquest pressupost s'inclouen tots els productes que formen la roda giroscòpica i aquests tenen l'IVA inclosa, en conseqüència no s'ha d'afegir cap cost addicional al que es formularà tot seguit.

El pressupost de la roda es tracta com si es fabriqués un sol producte de prova, això fa que el cost sigui major donat que els fabricants de diversos components dels quals es compra, volen una demanda alta per aprofitar la comanda. Així doncs penalitzen la compra de poca quantitat del seu producte.

7.1 Estat d'amidaments

CAPÍTOL 01: Components principals roda		
Descripció	Unitats	N
Motor elèctric pla <i>Brushless</i> de 90 W, amb parell d'arrencada de 5N·m i velocitat de gir nominal de 2500 rpm. Amb longitud màxima permesa de 55 mm, diàmetre de carcassa de 90 mm i diàmetre de 10 mm de sortida.	u	1
Rodament de boles de doble filera de contacte angular amb diàmetre interior de 12 mm i diàmetre exterior de 32 mm.	u	1
Rodament d'agulles de diàmetre interior de 12 mm i diàmetre exterior de 24 mm.	u	2
Engranatge plàstic de 60 dents, amb un mòdul de valor 1,5 i amb un diàmetre interior de 10 mm.	u	1
Engranatge plàstic de 40 dents, amb un mòdul de valor 1,5 i amb un diàmetre interior de 15 mm.	u	1
Eix passant per una roda davantera de 29" de 12 mm de diàmetre i 150 mm de llargada.	u	1
Vàlvula <i>Schrader</i> per a roda <i>Tubeless Ready</i>	u	1
Neumàtic de MTB enfocat al rodatge abans que buscar <i>grip</i> , de tamany 29"x2.10	u	1

CAPÍTOL 02: Electrònica		
Descripció	Unitats	N
Bateria Li-Po de 11,1 V i 3200 mAh amb dimensions (136x43) i amb un espessor de 20 mm.	u	3

Diode LED de 2,5V amb un consum de 45 mA i de 5 mm de diàmetre d'esfera.	u	2
Sensor Hall de petites dimensions (25x10mm) i amb una espessor menor de 5 mm. Aquest sensor no consumeix més de 5 mA i treballa en un rang de voltatge de 3,8 fins a 24 V. Distància màxima de lectura 12 mm.	u	1
Controladora per un motor de 90 W amb dimensions de (40x30x10 mm) i que treballi en un rang de 10 a 50 V i amb una corrent nominal de 5 A.	u	1
Placa mare que suporti la controladora i pugui distribuir les connexions. Les seves dimensions han de ser de 110x70x20mm.	u	1
Port USB capaç d'alimentar les bateries i de fer arribar la informació necessària a la controladora.	u	1
Cablejat lleuger de menys de 50 grams i capaç de suportar tensions i corrents de fins a 50V i 70 A.	m	1

CAPÍTOL 03: Separadors i taps

Descripció

	Unitats	N
Tap eix de plàstic de diàmetre interior de 12 mm.	u	1
Taps de plàstic tou (de 6 mm d'amplada i 2 mm d'alçada) per enclavar la carcassa de les bateries a la llanta de la roda.	u	4
Passador sensor Hall de plàstic (de 6 mm de llargada i 3 mm de diàmetre).	u	2
Separador volandera sensor Hall de plàstic (de 3 mm de diàmetre).	u	2
Disc separador engranatge del disc de plàstic dur de 3 mm d'espessor, de diàmetre interior 40 mm i diàmetre exterior 60 mm.	u	1
Tapa USB de plàstic tou.	u	1
Tapa exterior perforada de diàmetre exterior 24 mm i d'1,5 mm d'ample.	u	2
Separador entre el con i la femella (M14) de diàmetre interior de 12 mm i 4 mm d'amplada.	u	2

Con separador de 12 mm de diàmetre interior. Els diàmetres exteriors són de 14 i 16 mm respectivament i té una amplada d'1,5 mm.	u	2
Anells elàstics d'acer, diàmetre 12 mm ajustable a l'eix.	u	4

CAPÍTOL 04: Materials dels components

Descripció

Unitats

N

Disc inèrcia (alumini). Làmines de xapa d'alumini de grossor d'1,5 mm.	kg	4,5
Llanta fixa (fibra de carboni). Làmines de fibra de carboni.	kg	3,1
Carcassa bateries 1 i 2 (PE). Material plàstic dur d'alta densitat per ser modelat mitjançant l'aplicació de calor.	kg	1
Llanta extraïble (PE). Material plàstic dur d'alta densitat per ser modelat mitjançant l'aplicació de calor.	kg	0,8
Plàstic vidre transparent (500x500x2 mm)	u	1
Làmina acrílica difusora llum LED. (50x50x5 mm)	u	1

CAPÍTOL 05: Cargols, rosques

Descripció

Unitats

N

TOA 4x8mm DIN 912 8.8	u	4
TOA 5x40 mm DIN 912 8.8	u	6
TOA 8x20 mm DIN 912 8.8	u	8
TOR 6x20 mm DIN 912 8.8	u	5
Femella autoblocant M4 DIN 985	u	4
Femella autoblocant M5 DIN 985	u	6
Femella autoblocant M6 DIN 985	u	5
Femella autoblocant M8 DIN 985	u	8
Femella M14 DIN 934 Inoxidable	u	2
Roscat M14 DIN 934 Inoxidable	u	2

Volandera M5 DIN 9021	u	6
Volandera M6 DIN 9021	u	5
Volandera M8 DIN 9021	u	8

CAPÍTOL 06: Fabricació i muntatge roda

Descripció

	Unitats	N
Plegat xapa d'alumini, soldat i acabat superficial. Procés executat en el disc d'inèrcia, on se li dona forma a dos làmines d'alumini i es solden per formar aquest volant d'inèrcia.	h	0,5
Modelat plàstic i fibra de carboni. Procés que es duu a terme per qualsevol plàstic dur d'alta densitat o fibra de carboni que convingui.	h	0,8
Pintura i lacat de la llanta exterior.	h	0,2
Muntatge de la roda giroscòpica.	h	0,5
Perforat dels components.	h	0,1
Control de qualitat de tota la roda abans de sortir de la cadena de producció.	h	0,3

7.2 Pressupost per partides

CAPÍTOL 01: Components principals roda					
Codi	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
1.01	Motor elèctric pla <i>brushless</i> 90 W	u	1	234,40 €	234,40 €
1.02	Rodament boles de doble filera de contacte angular, diàmetre interior 12 mm.	u	1	66,43 €	66,43 €
1.03	Rodament agulles, diàmetre interior 12 mm.	u	2	29,31 €	58,62 €
1.04	Engranatge plàstic 60 dents	u	1	31,88 €	31,88 €
1.05	Engranatge plàstic 40 dents	u	1	19,34 €	19,34 €
1.06	Eix roda (12x150mm)	u	1	46,00 €	46,00 €
1.7	Vàlvula <i>Schrader</i> per <i>Tubeless Ready</i>	u	1	8,99 €	8,99 €
1.08	Neumàtic <i>Tubeless</i> 29x2.10	u	1	24,49 €	24,49 €
TOTAL CAPÍTOL 01: Components principals roda					490,15 €

CAPÍTOL 02: Electrònica					
Codi	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
2.01	Bateria Li-Po de 11,1V i 3200 mAh	u	3	30,00 €	90,00 €
2.02	Diode LED de 2,5 V i 5 mm diàmetre.	u	2	0,11 €	0,22 €
2.03	Sensor Hall +3,8 V A +24 V. Distància màxima de lectura 12 mm.	u	1	6,73 €	6,73 €
2.04	Controladora motor +10 a +50 V, 5A de corrent nominal	u	1	168,40 €	168,40 €
2.05	Placa mare	u	1	83,82 €	83,82 €
2.06	Port USB	u	1	0,56 €	0,56 €
2.07	Cablejat	m	1	5,28 €	5,28 €
TOTAL CAPÍTOL 02: Electrònica					355,01 €

CAPÍTOL 03: Separadors i taps					
Codi	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
3.01	Tap eix	u	1	34,00 €	34,00 €
3.02	Taps carcassa bateries	u	4	0,75 €	3,00 €
3.03	Passador sensor Hall	u	2	0,35 €	0,70 €
3.04	Separador volandera sensor Hall	u	2	0,25 €	0,50 €
3.05	Disc separador engranatge del disc	u	1	0,50 €	0,50 €
3.06	Tapa USB	u	1	1,20 €	1,20 €
3.07	Tapa exterior	u	2	0,90 €	1,80 €
3.08	Separador con femella	u	2	0,40 €	0,80 €
3.09	Con	u	2	0,70 €	1,40 €
3.10	Anells elàstics	u	4	0,2 €	0,8 €
TOTAL CAPÍTOL 03: Separadors i taps					44,70 €

CAPÍTOL 04: Materials dels components					
Codi	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
4.01	Disc inèrcia (alumini). Làmines de xapa d'alumini de grossor d'1,5 mm.	kg	4,5	1,73 €	7,79 €
4.02	Llanta fixa (fibra de carboni). Làmines de fibra de carboni.	kg	3,1	30 €	93,00 €
4.03	Carcassa bateries 1 i 2 (PE). Plàstic dur d'alta densitat.	kg	1	2,45 €	2,45 €
4.04	Llanta extraïble (PE). Plàstic dur d'alta densitat.	kg	0,8	2,45 €	1,96 €
4.05	Plàstic vidre transparent (500x500x2 mm)	u	1	6,25 €	6,25 €
4.06	Làmina acrílica difusora llum LED (50x50x5mm)	u	1	4,10 €	4,10 €
TOTAL CAPÍTOL 04: Materials dels components					115,55 €

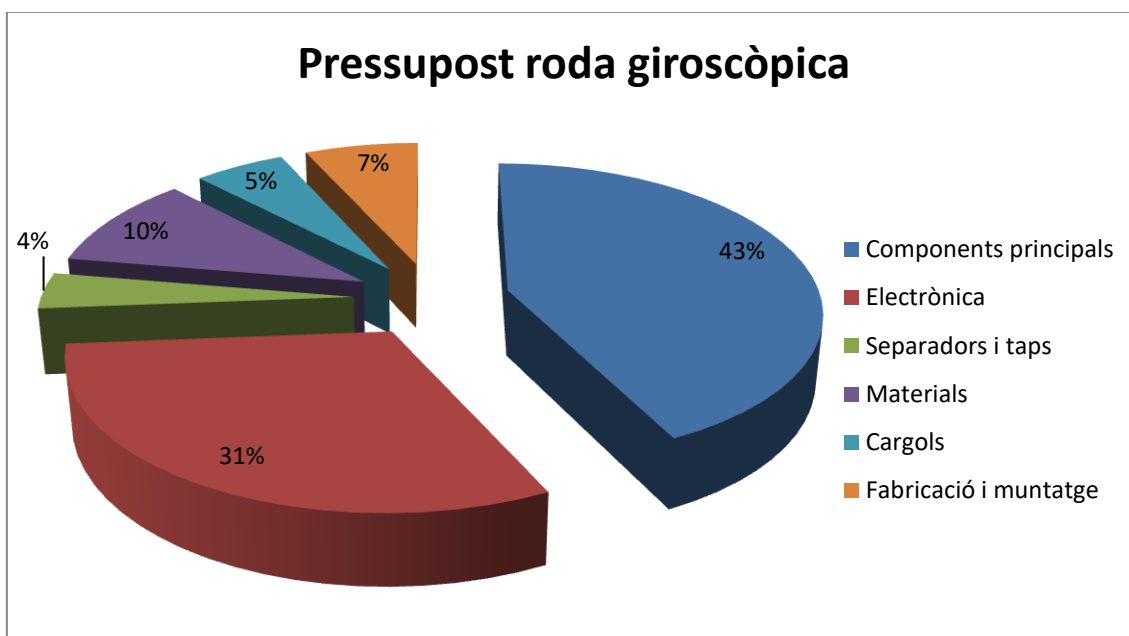
Codi	CAPÍTOL 05: Cargols, rosques i volanderes				
	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
5.01	TOA 4x8mm DIN 912 8.8	u	4	3,77 €	3,77 €
5.02	TOA 5x40 mm DIN 912 8.8	u	6	5,32 €	5,32 €
5.03	TOA 8x20 mm DIN 912 8.8	u	8	5,25 €	5,25 €
5.04	TOR 6x20 mm DIN 912 8.8	u	5	5,18 €	5,18 €
5.05	Femella autoblocant M4 DIN 985	u	4	1,50 €	1,50 €
5.06	Femella autoblocant M5 DIN 985	u	6	1,90 €	1,90 €
5.07	Femella autoblocant M6 DIN 985	u	5	2,90 €	2,90 €
5.08	Femella autoblocant M8 DIN 985	u	8	4,70 €	4,70 €
5.09	Femella M14 DIN 934 Inoxidable	u	2	14,50 €	14,50 €
5.10	Roscat M14 DIN 934 Inoxidable	u	2	2,50 €	2,50 €
5.11	Volandera M5 DIN 9021	u	6	2,90 €	2,90 €
5.12	Volandera M6 DIN 9021	u	5	4,40 €	4,40 €
5.13	Volandera M8 DIN 9021	u	8	7,60 €	7,60 €
TOTAL CAPÍTOL 05: Cargols,rosques i volanderes					62,42 €

Nota: els preus del capítol 05 no augmenten al ser multiplicats, donat que tots els cargols, rosques i volanderes venen en capsas de 50 u. mínim. Per tant sol caldrà una capsa per cada codi del capítol.

Codi	CAPÍTOL 06: Fabricació i muntatge roda				
	Descripció	Unitats	N	Preu	Total
6.01	Plegat xapa d'alumini,soldat i acabat superficial	h	0,5	35,00 €	17,50 €
6.02	Modelat plàstic i fibra de carboni	h	0,8	35,00 €	28,00 €
6.03	Pintura i lacat	h	0,2	30,00 €	6,00 €
6.04	Muntatge de la roda	h	0,5	40,00 €	20,00 €
6.05	Perforat	h	0,1	20,00 €	2,00 €
6.06	Control de qualitat	h	0,3	15,00 €	4,50 €
TOTAL CAPÍTOL 06: Fabricació i muntatge roda					78,00 €

7.3 Resum pressupost

CAPÍTOL 01: Components principals roda	490,15 €
CAPÍTOL 02: Electrònica	355,01 €
CAPÍTOL 03: Separadors i taps	44,70 €
CAPÍTOL 04: Materials dels components	115,55 €
CAPÍTOL 05: Cargols, rosques i volanderes	62,42 €
CAPÍTOL 06: Fabricació i muntatge roda	78,00 €
SUMA TOTAL	1.145,83 €



8. Conclusions del treball

A mesura que s'ha anat desenvolupant aquest treball s'ha dut a terme una tasca de recerca de components, de dimensionat i de disseny de tot el sistema giroscòpic d'una roda aplicat a la bicicleta de passeig. S'ha pogut veure els components i els paràmetres més idonis per garantir les prestacions que ha de contenir una roda d'aquestes característiques.

Es pot afirmar que sempre s'ha intentat plasmar la realitat al treball i s'han parametritzat varies situacions reals de l'usuari damunt la bicicleta per determinar la geometria de la bicicleta, el funcionament de la roda i les capacitats d'aquesta.

Una de les finalitats que es tenia en aquest projecte, era implantar la física de l'efecte giroscopi en la bicicleta, i es pot dir que s'ha realitzat aquesta tasca amb garanties, arribant a determinar cada un dels components en funció de l'efecte giroscopi que ha de proporcionar el disc d'inèrcia.

Si més no, algun apartat té algun cert marge d'error, com ara el pressupost de la roda, el qual acaba sent una mica exclusiu pels usuaris i no tothom es podria permetre una roda per la seva bicicleta d'aquest preu. Per això es necessitaria ajustar una mica més el preu i trobar finançament en empreses que vulguin potenciar aquest producte i investigar nous models de producció en base d'aquest model primari.

La solució final del projecte, tot i tenir algun element d'innovació, s'ha projectat seguint els estàndards de l'enginyeria i disseny del producte, donant lloc a una memòria tècnica que suposa una base per a un futur desenvolupament industrial de la roda giroscòpica.

9. Plec de condicions

9.1 Normativa aplicada

Per tenir tots els components dissenyats en regla en el model creat de la roda giroscòpica, s'ha seguit la reglamentació corresponent a la norma UNE EN-4210. Aquesta norma UNE tracta dels requisits de seguretat per la bicicleta i el disseny que s'ha de dur a terme pels seus components, així com muntatge, control de qualitat, etc.

Tot i així s'ha utilitzat més normatives que englobaran tot el sistema giroscòpic, a continuació es mostra tota la normativa que s'ha dut a terme i seguit al llarg del dimensionat i planificació de fabricació:

- ISO 5775-1 *Neumáticos y llantas de bicicleta; Designaciones y dimensiones de los neumáticos.*
- ISO 5775-2 *Neumáticos y llantas de bicicleta; llantas.*
- UNE-EN ISO 4210-1 *Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Términos y definiciones.*
- UNE-EN ISO 4210-2 *Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Requisitos para bicicletas de paseos, para adultos, jóvenes, de montaña y de carreras.*
- UNE-EN ISO 4210-3 *Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Métodos de ensayo comunes.*
- UNE-EN ISO 4210-7 *Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Métodos de ensayo para ruedas y llantas.*

Tot seguit es fa un resum de cada normativa i dels punts que s'han cregut importants a destacar:

ISO 5775-1 Neumáticos y llantas de bicicleta; Designaciones y dimensiones de los neumáticos.

Aquesta normativa estipula les dimensions que hi ha normalitzades de pneumàtic i les pressions a les quals s'ha de dur a terme l'inflat d'aquests en funció de la secció que tinguin.

ISO 5775-2 Neumáticos y llantas de bicicleta; llantas.

La normativa fixa les mesures estàndard dins les llantes, tenint en compte els diferents diàmetres que pot tenir i la seva amplada.

UNE-EN ISO 4210-1 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Términos y definiciones.

Estableix les principals parts que ha de tenir la bicicleta i el que s'ha de portar en regla. Dins de la normativa cal destacar els sistemes de retenció que enumera per fixar l'eix a la forquilla, tant el primari com el secundari, el rang de pressió que ha de tenir la roda, ja sigui determinada per la llanta o el pneumàtic i per últim el límit màxim de pes que pot tenir una bicicleta de passeig adulta (40kg).

UNE-EN ISO 4210-2 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Requisitos para bicicletas de paseos, para adultos, jóvenes, de montaña y de carreras.

Aquesta normativa es bastant extensa i se'n destacaran els punts més importants, els quals es poden aplicar al projecte:

- 4.3 *Seguridad y resistencia de los elementos de fijación relativos a la seguridad.* Aquest apartat es cuida de la seguretat dels cargols i dels seus sistemes apropiats de retenció, així doncs que tinguin femelles autoblocants o un component fixador del cargol. També es garanteix un par de roscat mínim on té que superar almenys un 50% del par que recomana el fabricant.
- 4.6 *Frenos.* Dins els valors de prestació de frenat calculats per la normativa AENOR segons alguns assajos, en les bicicletes de passeig serà d'uns 340 N (com a mínim). Aquesta força per tant es la que haurà de suportar la llanta quan s'apliqui la frenada per l'usuari.
- 4.9 *Horquilla delantera.* Determina el posicionament de la roda i l'eix respecte la forquilla i el centrat d'aquesta. Regula també el sistema de fixació amb la roda i en cap moment s'ha de separar les puntes de la forquilla de l'eix de la roda.
- 4.10 *Ruedas y conjunto de rueda/neumático.* Primer de tot li dóna importància a la tolerància de concentricitat i tolerància lateral. La tolerància de concentricitat i lateral no haurà de superar (en aquest tipus de bicicleta i llanta) 1 mm.

L'alineació de la roda en una bicicleta ha de permetre un pas de roda no inferior als valors donats en la següent taula:

Tabla 8 – Conjunto de rueda/neumático – Paso de rueda

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Paso de rueda	6	6	6	4

Aquest apartat de la normativa, també té en compte la resistència que ha de tenir una roda. Per això és primordial que no pot hi hagi cap tipus de fallada en els components de la roda, i la deformació permanent, mesurada en el punt d'aplicació de la força en la llanta, no pot excedir els següents valors:

Medidas en milímetros

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Deformación permanente	1,5	1,5	1,0	1,0

En quan als sistemes de fixació, s'enumera les característiques que ha de tenir qualsevol mecanisme de bloqueig ràpid, com és el que es té a la roda giroscòpica.

- Ha de ser ajustable per permetre un ajustament del roscat.
- La seva forma i marcat han d'indicar clarament si està en posició d'obertura o de tancament.
- Si el mecanisme es ajustable mitjançant una palanca, la força necessària per tancar-la no ha de sobrepassar els 200 N i durant l'aplicació d'aquesta força de tancament no ha d'haver cap deformació permanent del mecanisme de bloqueig ràpid.
- La força de desbloqueig del mecanisme, no ha de ser inferior a 50 N.

- 4.11 Llanta, neumáticos y cámaras de aire.

La pressió d'inflat dels pneumàtics màxima autoritzada pel fabricant haurà d'estar marcada de forma permanent al pneumàtic de manera que sigui fàcilment visible quan el pneumàtic estigui muntat sobre la llanta.

La compatibilitat de pneumàtic i llanta estarà vinculat a les normatives prèviament explicades (ISO 5775-1 i ISO 5775-2), si es compleixen aquestes, llavors el pneumàtic i la llanta seran compatibles.

El desgast de la llanta també serà un factor important en aquest projecte. Aquest serà ocasionat pel frenat de llanta. Per tant el fabricant haurà d'advertir a l'usuari sobre el perill d'una fallada de llanta causada pel desgast de les superfícies de frenat.

UNE-EN ISO 4210-3 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Métodos de ensayo comunes.

Determina els mètodes d'assaig més utilitzats per comprovar la funció dels components de la bicicleta i l'estat d'aquests.

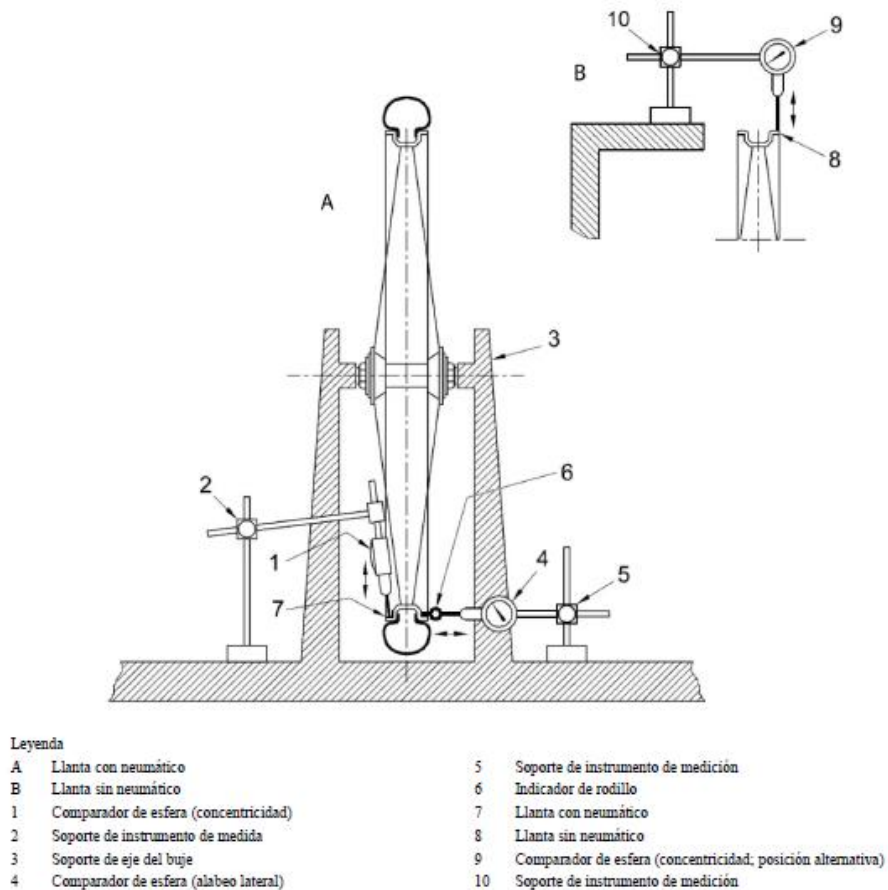
UNE-EN ISO 4210-7 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Métodos de ensayo para ruedas y llantas.

En aquesta normativa es poden veure els mètodes d'assaig que s'apliquen a la roda i que ha de superar amb escreixos. S'apliquen diferents assaigs:

- Precisió de la roda

Les toleràncies de guerxament representen la variació màxima de la posició de la llanta quan es mesura perpendicularment a l'eix en un punt al llarg de la llanta d'una roda muntada i ajustada, durant un gir complet d'aquesta al voltant del seu eix, sense moviment axial (veure figura 38). S'han de mesurar ambdós costats de la llanta i prendre el valor màxim obtingut. Aquesta mesura es durà a terme amb el pneumàtic prèviament inflat a la pressió màxima.

Figura 38.
Assaig de
precisió de la
roda.



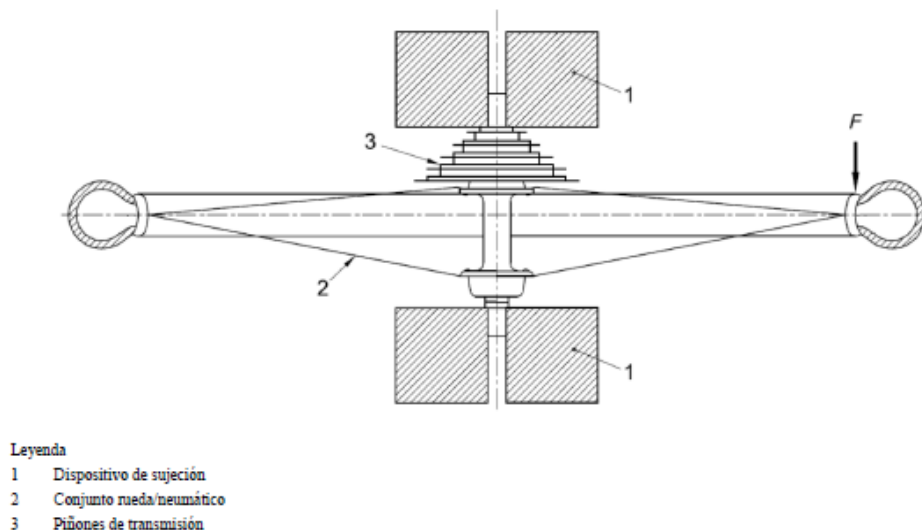
- Assaig estàtic de resistència

Es tracta de fixar la roda de forma apropiada i aplicar una carga sobre la llanta de manera perpendicular al pla de la llanta, tal i com es mostra a la següent figura:

Fuerzas en newtons

Tipo de bicicleta	Bicicletas de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carreras
Fuerza F	250	250	370	250

Figura 39.
Assaig estàtic
de resistència.



- Assaig de fatiga

Aquest mètode d'assaig consta de muntar la roda, el pneumàtic i s'infla fins al 90% de la pressió màxima d'inflat.

S'instal·la el conjunt roda amb llibertat per girar en el seu propi eix i per moure's en direcció vertical. Es carga el conjunt roda mitjançant pesos morts contra un corró equipat amb llistons metàl·lics transversals, espaiats equitativament, de forma que la força radial aplicada al conjunt de la roda sigui de 640 N. Els eixos de la roda i el corró han d'estar alineats verticalment (veure figura 40).

El diàmetre del corró ha d'estar en el rang de 0,5 m a 1 m i els llistons una amplada d'uns 50 mm i una espessor de 10 mm. Es fa girar aquest corró per arribar a una velocitat lineal de superfície de 25 km/h durant un període suficient que provoqui 750.000 impactes entre el pneumàtic i els llistons.

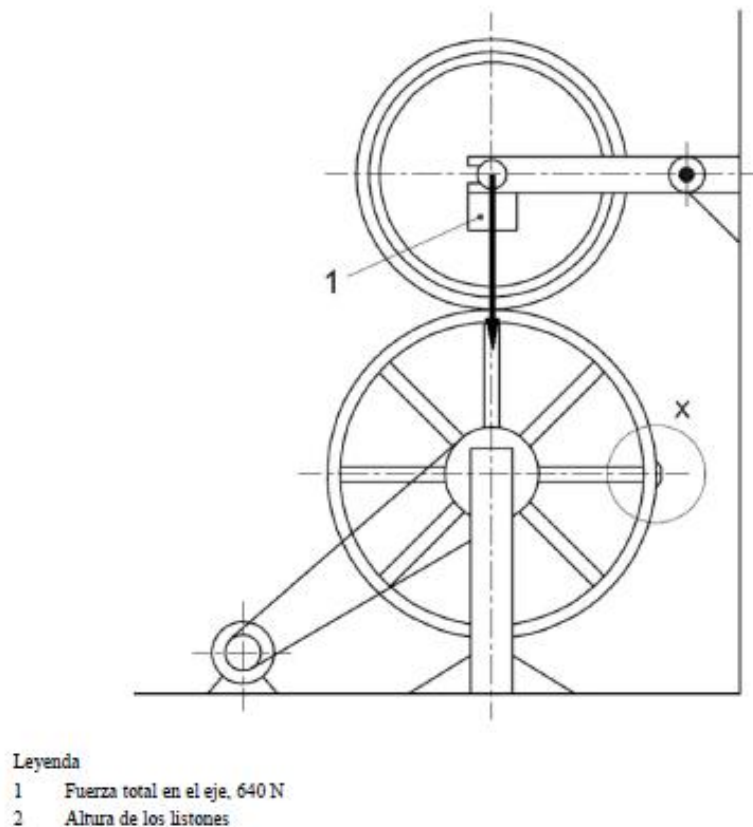


Figura 40. Assaig de fatiga de la roda.

9.2 Característiques i condicions d'ús dels components de la roda

En aquest apartat s'informa a l'usuari de les condicions d'ús dels components que pugui contenir la roda giroscòpica i puguin ser malmesos per un ús indegut d'aquests.

9.2.1 Components interns de la roda

Motor:

El motor de la roda giroscòpica és un motor elèctric *brushless* pla de 90W, tal i com ja s'ha dit anteriorment en apartats previs. Disposa d'una carcassa de 90 mm de diàmetre i ocupa tot el motor una longitud de 52 mm. La carcassa exterior de l'estator està feta d'alumini 6061. Aquest alumini té les següents propietats:

Té una densitat de $2,70 \text{ g/cm}^3$, un mòdul elàstic de 69000 MPa, una màxima resistència a la tracció de 125 MPa i un límit elàstic a 55 MPa. El material experimenta una elongació entre el 25 i el 30%. Té un coeficient de Poisson de 0,33 i una conductivitat tèrmica de $170 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

En quan al rotor, aquest és de Titani Ti-8Mn. Aquest aliatge del titani té les següents característiques:

Una densitat de $4,73 \text{ g/cm}^3$, coeficient de Poisson de 0,33, mòdul elàstic de 115 GPa, una màxima resistència a la tracció de 900 MPa i un límit elàstic de 810 MPa. Pel que fa a conductivitat tèrmica disposa de $10,9 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Pel que fa als materials, l'alumini formaria la part exterior del motor (carcassa) i el titani la part interior (el rotor). Ara s'esmenta els límits del motor i les seves condicions d'ús.

Aquest motor disposa d'un voltatge nominal de 24 V (és important no superar aquest voltatge en cap cas al llarg del seu funcionament). La eficiència del motor està sobre el 84%. Conté 24 pols i pesa 0,6Kg. Té una velocitat nominal màxima de 2590 rpm, no pot suportar més revolucions amb càrrega. Pel que fa al parell nominal continu màxim està a $444 \text{ mN}\cdot\text{m}$ i això ve a ser 6.06 A de corrent continu.

En quan a l'arrencada del motor, aquest suporta i ofereix les característiques de corrent d'arrencada de 70A i $4,94 \text{ N}\cdot\text{m}$ de parell d'arrencada. Aquesta arrencada té que ser en el menor temps possible, donat que no pot estar molt temps sobrecarregat el motor. El rotor té una inèrcia de $3060 \text{ g}\cdot\text{cm}^2$.

El motor disposa de sortides de ventilació a la carcassa, tot i així en algun cas pot ser insuficient i s'han de tenir en compte els rangs de temperatura als quals pot treballar. Aquest motor pot treballar de -40 a +100°C.

En quan a especificacions mecàniques, aquestes venen definides pels rodaments que conté. La seva velocitat màxima de revolució és de 5000 rpm, té un joc axial de 0,14 mm en forces superiors a 15N i pot suportar 12 N de càrrega axial i 68 N de càrrega radial.

Qualsevol valor que estigui fora dels rangs determinats en aquest apartat, la garantia del producte quedarà automàticament exclosa i cap fabricant ni distribuïdor se'n farà responsable.

El motor té una part de connexionat, on hi conté 8 pins de connexió:

- Pin 1: Sensor Hall 1.
- Pin 2: Sensor Hall 2.
- Pin3: Entrada de voltatge de fins a +24V.
- Pin4: Motor debanament 3.
- Pin5: Sensor Hall 3.
- Pin6: *Ground* (la massa).
- Pin7: Motor debanament 1.
- Pin8: Motor debanament 2.

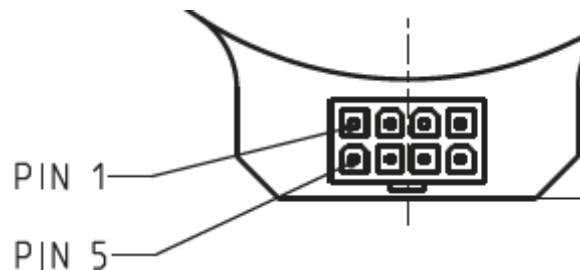


Figura 41. Connexionat del motor.

En el cas que es vulgui controlar la freqüència o corrent del motor, es recomanen les següents controladores compatibles amb aquest model de motor:

- ESCON Mod. 50/4 EC-S.
- ESCON Mod. 50/5.
- ESCON 50/5.
- ESCON 70/10.
- DEC Module 50/5.
- EPOS2 24/5, 50/5, 70/10.
- EPOS2 P 24/5.
- EPOS4 Module 50/8.
- EPOS4 Comp.50/8 CAN.
- MAXPOS 50/5.

En quan a la subjecció del motor (veure figura 42), aquesta s'aprofitarà a partir del modelat de la carcassa extraïble on es farà una carcassa que contindrà el motor on aquest entrarà per encaix i per evitar el gir d'aquest, a sota es tindrà dos perfils de plàstic que bloquejaran la part inferior del connexionat. És important no forçar cap tipus de moviment a l'hora de desmuntar o muntar ja que la carcassa es pot veure danyada.

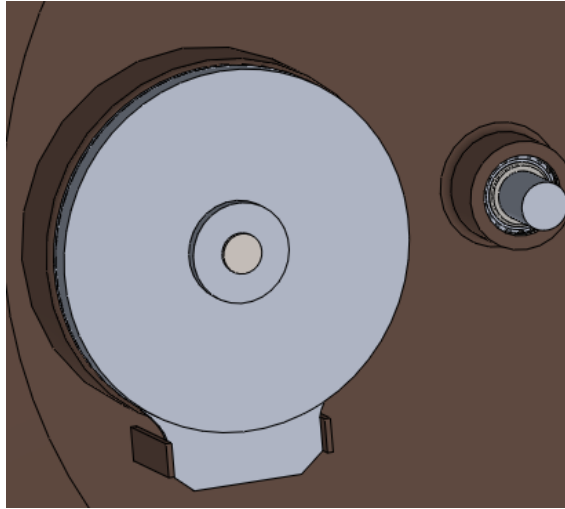


Figura 42. Vista detallada de la subjecció del motor.

Pel que fa a la unió entre l'engranatge i el motor, aquesta tindrà un ajust H7-g6 que estarà reforçat per pegament extra fort que farà que engranatge i motor girin a la vegada. És convenient no alterar el muntatge d'engranatge i motor amb l'excepció de trencada o fissura d'un dels dos elements i recanvi en el seu lloc.

Engranatges:

Es disposaran dos engranatges en aquests sistema de plàstic, concretament del material MC901. Aquest material té les següents característiques i propietats:

- És un material amb una alta resistència mecànica, rigidesa, duresa i tenacitat.
- Alta capacitat esmorteïment.
- Bones propietats de lliscament.
- Excel·lent resistència al desgast.
- Bones propietats com aïllant elèctric.
- Bona resistència a radiacions externes.
- Fàcil de mecanitzar.
- Més lleuger que altres materials d'engranatges com l'acer.

La seva densitat és de $1,15 \text{ g/cm}^3$, el seu punt de temperatura de fusió és a 215°C . Tensió de flexió de 110 MPa, un coeficient de Poisson de 0,4, mòdul d'elasticitat (a compressió) 3530 MPa i una tensió de compressió màxima de 95 MPa. La duresa del dentat va de 115 a 120 HRR, aquest dentat tindrà una mesura estàndard.

En quan als engranatges, un engranatge serà de 60 dents i un altre de 40 dents. Ambdós tindran un mòdul 1,5 i un angle de pressió a les dents de 20° . L'engranatge de 60 dents tindrà un diàmetre interior de 10 mm amb toleràncies (H7) i el diàmetre interior de l'engranatge de 40 dents tindrà 15 mm de nominal. Aquest últim estarà fixat al disc d'inèrcia a través d'uns cargols (M5) que els uniran.

Els engranatges no podran suportar parells superiors a 5 N·m, el de 40 dents, i 8,14 N·m el de 60 dents. Si es supera el parell màxim suportat pels engranatges, el fabricant no se'n fa responsable. A continuació es mostren les mesures dels engranatges amb les seves mesures respectives:

Engranatge de 60 dents:

- A= 10 mm.
- B= 50 mm.
- C= 90 mm.
- D= 93 mm.
- E= 15 mm.
- F= 10 mm.
- G= 25 mm.

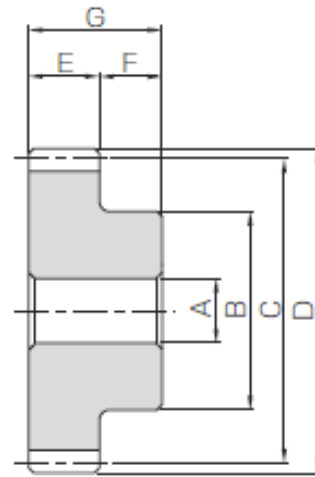


Figura 43. Paràmetres en el dimensionat de l'engranatge.

Engranatge de 40 dents:

- A= 15 mm.
- B= 45 mm.
- C= 60 mm.
- D= 63 mm.
- E= 15 mm.
- F= 10 mm.
- G= 25 mm.

Rodaments i anells elàstics:

Primer se'n determina les condicions i característiques del rodament de boles de doble filera de contacte angular. Aquest rodament està format per un anell interior i un anell exterior d'acer AISI 1020 i entre aquests anells hi ha les boles d'alumini 6061. L'alumini no el cal explicar donat que a l'apartat previ de condicions d'ús del motor ja s'ha exposat. Pel que fa a l'acer AISI 1020, se'n pot destacar el següent:

Té una densitat de $7,9 \text{ g/cm}^3$, un mòdul elàstic de 200 GPa, una màxima resistència a la tensió de 420,51 MPa, un límit elàstic de 351,57 MPa i una conductivitat tèrmica de $47 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

El rodament de boles cal que sigui lubricat i es dugui a terme un manteniment i ús correcte per arribar a la vida útil (calculada en l'apartat de dimensionat del rodament). En aquest dimensionat ja s'havien apuntat certes característiques del rodament que són les següents:

El seu diàmetre interior és de 12 mm, el diàmetre exterior de 32 mm, l'amplada de 15,9 mm, l'angle de contacte angular és de 25° i la seva massa de 0,051 kg. Ambdós diàmetres estan mecanitzats per poder adaptar-se a l'eix passant i al disc d'inèrcia. En quan a les seves capacitats i que és imprescindible no superar, té una capacitat de carga dinàmica de 10,6 kN, una capacitat de carga dinàmica de 5,85 kN, una velocitat màxima de revolució de 20000 rpm. Qualsevol ús que superi aquests paràmetres, el fabricant no se'n serà responsable.

En el rodament d'agulles es té els mateixos materials que en el rodament de boles. L'anell interior i exterior estan formats per acer AISI 1020, mentre que les agulles són d'alumini 6061. Ambdós materials, ja han estat determinats en quan a propietats mecàniques i es coneix els seus límits i capacitats.

Els diàmetres del rodament d'agulles també estan mecanitzats per poder ajustar-se a l'eix passant fix i a la llanta fixa i extraïble. Els diàmetres d'aquest rodament són de 12 mm i 24 mm i amb una amplada de 16 mm. El seu pes és de 0,033 kg i les seves capacitats màximes de carga són, 10,8 kN de dinàmica i 13,1 kN d'estàtica. Pel que fa a la seva velocitat límit és de 22800 rpm.

No és convenient superar cap de les capacitats del rodament que s'han enumerat i cal una lubricació i manteniment (el qual determina propi fabricant) i si no es dur a terme aquest ús correcte del rodament, aquest no tindrà cap tipus de garantia ni ningú se'n farà càrrec.

Tant els rodaments de boles com els d'agulles, a més d'estar ajustats, s'assegurarà que no tinguin desplaçament al llarg de l'eix fixant-los amb anells elàstics i separadors.

En quan als anells elàstics, aquests tindran un pes mol reduït (0,3 g), un diàmetre nominal de 12 mm i un diàmetre d'ajust màxim de 11,2 mm, un espessor de 1 mm i un diàmetre exterior de 13,8 mm. Els anells elàstics són d'acer AISI 1020.

Disc inèrcia:

El disc d'inèrcia està fet per làmines d'alumini prèviament plegades i que després es solden pel diàmetre exterior del disc. El seu diàmetre exterior és de 540 mm mentre que el diàmetre interior és de 32 mm, aquest últim mecanitzat per poder encaixar i ajustar-se al rodament de boles de contacte angular. El disc pesa 4,5 kg i està fet d'alumini 6061. La seva amplada al diàmetre interior és de 15,9 mm (la mateixa amplada que el rodament de boles) i després l'amplada es va fent gran a mesura que s'allunya del centre de rotació del disc per així assegurar una major massa a l'exterior del disc i guanyar més inèrcia.

Aquest disc incorpora tres adhesius que serveixen per fer referència a l'usuari del gir del disc des de l'exterior. El disc estarà centrat al mig de la roda i de l'eix ajustat al rodament de boles de doble filera.

Si a l'hora de rotar el disc, aquest proporciona un soroll, probablement es tracti d'una fricció amb la llanta, llavors s'hauria de contactar amb el proveïdor de la roda giroscòpica. On allí seria arreglat i ajustat una altra vegada.

Conjunt alimentació:

En l'alimentació es té 3 bateries de Li-Po de 11,1 V i de 3200 mAh. Aquestes bateries són recarregables i disposen de connector XT60. Tenen una descàrrega en continua de 64 A i pot arribar a valors màxims de 128 A. Totes les bateries estan protegides per qualsevol problema electrònic o de temperatura. Per això al ser tan sensibles al sobreescalfament, se les proporciona uns forats de ventilació. Cada una de les bateries pesa 270 grams i té unes dimensions de 136x43x20mm. Aquestes



bateries estan connectades a la controladora i ficades a dins d'una carcassa que fa possible que les bateries estiguin dins la roda giroscòpica sense malmetre cap component.

Figura 44. Vista de la subjecció de la carcassa de les bateries amb la llanta fixa.

Aquesta carcassa està composta per un material plàstic, aquest material en qüestió és el polietilè (PE) d'alta densitat. Del polietilè se'n pot destacar:

- Té una excel·lent resistència tèrmica i química.

- Molt bona resistència a l'impacte.
- És tenaç.
- És molt lleuger.

Les seves propietats són: una densitat de $0,952 \text{ g/cm}^3$, un mòdul elàstic de 1070 MPa , una resistència a la tracció de $22,1 \text{ MPa}$ i una conductivitat tèrmica de $0,461 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

La carcassa està formada per dos parts les quals estan fixades mitjançant cargols de mètrica 6 i aquesta carcassa està fixada mitjançant un sistema d'encaix en la llanta fixa de la roda (veure figura 44).

Components de control:

El component que controla tota la electrònica de la roda giroscòpica és la controladora. Aquesta està feta de fibra de vidre principalment i té una densitat de $2,44 \text{ g/cm}^3$. La controladora té un pes de 12 grams i pot controlar motors de fins a 250W . Les seves dimensions són $43,2 \times 31,8 \times 12,7 \text{ mm}$. Les seves principals característiques són les que s'indiquen a continuació:

Disposa de connexions per tacodinamo, tres connexions d'encoder i de sensors Hall. Pot regular la corrent, variar la velocitat i regular-la. La seva tensió de treball és de 10 V fins a 50V i té un factor V_{cc} de $0,98$. La màxima corrent de sortida que pot oferir és de 15 A durant 20 segons i la seva corrent nominal en continu és de fins a 5 A . El màxim rendiment que ofereix és del 98% i la velocitat màxima que pot oferir és de 150000 rpm .

En quan a entrades, la controladora ofereix 2 de digitals i 2 d'analògiques, al

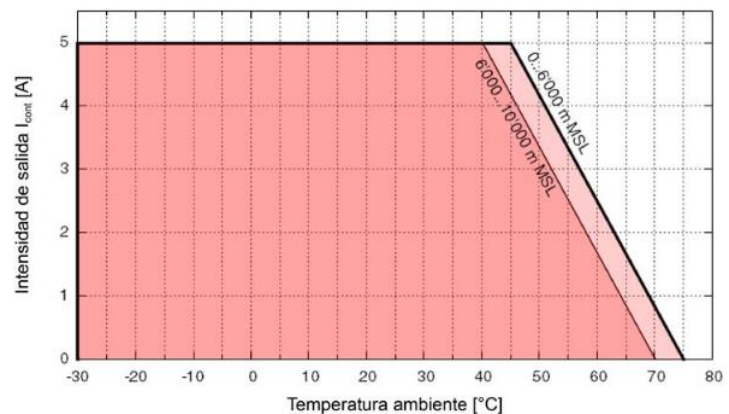


Figura 45. Rendiment de la controladora en funció de la temperatura exterior.

igual que les sortides. Disposa de connexió USB 2.0 i té varies funcions de protecció, entre elles:

- Limitació de corrent.
- Sobrecorrent.
- Temperatura excessiva.
- Subtensió i sobretensió.

- Transitoris de tensió i curtcircuits en el cable del motor.

El seu rang de temperatures de funcionament són de -30°C a 45°C .

Per la reglamentació i l'ús correcte de la controladora, s'ha aplicat la següent normativa:

- IEC/EN 61000-6-3, IEC/EN 55022: emissió d'interferències d'equips informàtics.
- IEC/EN 61000-6-2: immunitat a interferències per a entorns industrials.
- IEC/EN 61000-4-3: immunitat a interferències de camps electromagnètics de $\text{AF} > 10 \text{ V/m}$.
- IEC/EN 61000-4-4: immunitat a interferències contra transitoris elèctrics ràpids i ràfegues $\pm 2 \text{ kV}$.
- IEC/EN 61000-4-6: immunitat a interferències contra perturbacions per cable, induïdes per camps de AF de 10 Vrms .
- IEC/EN 60068-2-6: efectes ambientals – verificació Fc: oscil·lacions (sinusoïdals, $10 \dots 50 \text{ Hz}$, 20 m/s^2).
- MIL-STD-810F: Random transport ($10 \dots 500 \text{ Hz}$ fins $2,53 \text{ g}_{\text{rms}}$).
- UL File Number E243951; placa sense armar.
- MIL-HDBK-217F: Pronòstic de fiabilitat d'aparells electrònics.

Qualsevol ús que no segueixi aquesta normativa, queda exclosa qualsevol reclamació del producte i pot posar en perill la integritat del sistema.

La controladora disposa de 29 Pins és a dir de 29 connexions (veure figura 46), a continuació es mostren les corresponents connexions:

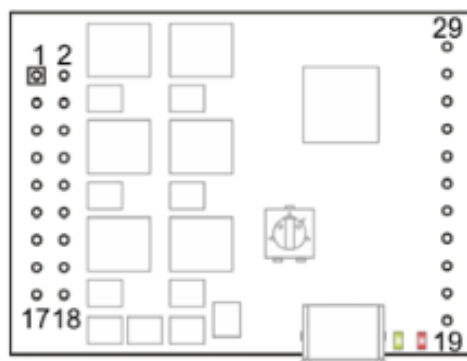


Figura 46. Assignació de pins de la controladora.

Pin	Descripció
1-2	Motor EC: Debanament 1
3-4	Motor EC: Debanament 2
5-6	Motor EC: Debanament 3
7-8	Tensió nominal de treball (+10...+50 Vcc)
9-10	Massa per la tensió de treball
11	Tensió d'alimentació sensor Hall (+5 Vcc)
12	Encoder, canal A
13	Sensor Hall 1, entrada
14	Encoder, canal A, senyal complementària
15	Sensor Hall 2, entrada
16	Encoder, canal B
17	Sensor Hall 3, entrada
18	Encoder, canal B, senyal complementària
19	Entrada/sortida digital 4
20	Entrada/sortida digital 3
21	Entrada digital 2
22	Entrada digital 1
23	Massa
24	Sortida analògica 2
25	Sortida analògica 1
26	Entrada analògica 2, senyal negativa
27	Entrada analògica 2, senyal positiva
28	Entrada analògica 1, senyal negativa
29	Entrada analògica 1, senyal positiva

La controladora anirà introduïda a la placa mare.

La placa mare està composta del mateix material que la controladora (fibra de vidre). El seu pes és de 83 grams i té unes dimensions de 110x72x23,6 mm. La placa mare es fixa a la mateixa carcassa de les bateries a través de quatre cargols de mètrica 4.

Sensors:

El sistema giroscòpic disposa de varis sensors com els de temperatura, però tots aquests són de la controladora, el sensor que va a part de la controladora és el sensor Hall. Aquest sensor està fixat, amb uns passadors de plàstic, a la llanta extraïble de la roda.

El sensor té unes dimensions de 25,5x11x3 mm i disposa de tres cables de 300 mm de llargada. Opera a un voltatge de +3,8 a +24V (+32V voltatge màx. de protecció) ,

consumeix de 1,6 a 5,2 mA i la seva velocitat de commutació és de 100 μ s. El seu rang de temperatura de funcionament és de -40°C a $+100^{\circ}\text{C}$, mentre que la temperatura d'emmagatzematge és de -65°C a $+105^{\circ}\text{C}$. La distància màxima de lectura del sensor és de 12,5 mm.

És important no sobrecarregar el sensor ja que podria deixar de funcionar i no podrà operar dins de les seves prestacions.

Il·luminació:

De la il·luminació se n'encarreguen dos díodes LED dels quals se'n pot destacar:

Tenen un diàmetre de 5 mm, treballen a 2,5 V i consumeixen (amb aquest voltatge) uns 45 mA.

Els díodes estan fixats amb cola a un difusor de llum (de plàstic acrílic) a la llanta fixa i estan connectats directament a la placa mare.

És important no sobrealimentar els díodes ja que aquests podrien deixar de funcionar i danyar la instal·lació.

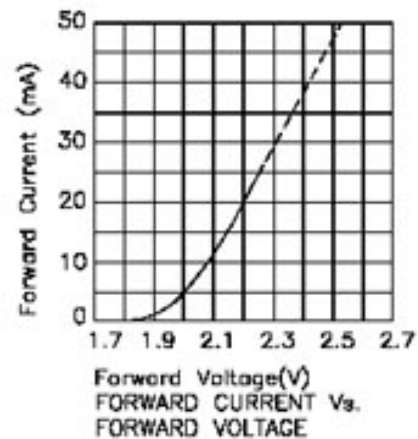


Figura 47. Gràfica consum de corrent-voltatge del LED.

9.2.2 Components externs de la roda

En quan a components externs de la roda es té el neumàtic, junt amb la vàlvula d'aire la qual està fixada a la llanta fixa i la llanta extraïble.

El neumàtic es fixarà a la llanta a través de la pressió d'inflat de cop i llavors es queda segellat amb la paret de la llanta. El neumàtic està fet de goma, poliuretà 11671, el qual té una densitat de $1,225 \text{ g/cm}^3$. Les dimensions del neumàtic segueixen la normativa i aquesta és del tipus 29x2.10".

S'ha de tenir en compte el rang de pressió d'inflat que indica el lateral de la roda i si es surt d'aquest rang, la carcassa del neumàtic pot ser danyada o bé es pot destalonar de la llanta i produir un accident al ciclista.

En quan a la llanta extraïble, aquesta està unida a la fixa a través d'uns cargols de mètrica 8. La llanta extraïble està feta de material PE d'alta densitat, el mateix que el de la carcassa de les bateries. Aquesta llanta incorpora un acoblament de plàstic PE també a l'interior per protegir el disc d'inèrcia. La llanta extraïble i també la llanta fixa estan recolzades sobre els rodament d'agulles dels extrems.

Pel que fa a la llanta fixa, aquesta està feta d'un material més resistent i que es capaç de suportar més càrregues, com és la fibra de carboni Thornel Mat VMA amb una densitat de 2 g/cm^3 . Aquest material té un mòdul elàstic de 170 GPa i una resistència màxima a la tensió de 1400 MPa. En quan a conductivitat tèrmica, té $0,410 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Ambdós llantes incorporen forats a la seva part superior interior per passar el cablejat d'un costat a l'altre sense interrompre el funcionament del disc ni produir cap problema en el sistema. Les llantes estan normalitzades i s'ha aplicat la normativa corresponent per què puguin garantir la estabilitat de la roda. És important, no sobrecarregar amb pesos molt grans la roda davantera, donat que aquesta es podria danyar, ja que no ha estat calculada per suportar més pesos que no siguin el de la bicicleta i el del ciclista.

9.2.3 Elements de fixació i separadors

La roda giroscòpica té varis elements de fixació i separadors els quals permeten que els components interns i externs puguin treballar al màxim les seves prestacions.

Tots els elements de fixació estan normativitzats i poden suportar els esforços als quals està dimensionats pel fabricant. Això sí, no es pot superar el parell de roscat que detalla el fabricant, sinó es podria malmetre la rosca i aquesta deixar de fer la seva funció. Es recomana doncs ajustar els cargols amb claus dinamomètriques que regulin el parell.

10. Referències bibliogràfiques

Llibres:

La Física de la bicicleta, José Sánchez Real

Valencia: Secretariado de Publicaciones. Universidad de Valencia 1978

Fundamentos de mecànica/Carlos F.González Fernández

Barcelona: Reverté, 2009

Physics for engineers and scientists/ Hans C.Ohanian, John T.Markert

New York; London: W.W.Norton, cop.2007 3rd edition

Fonts web:

Introducció i història giroscopi:

<http://www.unirioja.es/dptos/dq/fa/rincon/giros/node3.html>

https://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mecanica/giroscopo2k2.pdf

<https://es.wikipedia.org/wiki/Gir%C3%B3scopo>

<http://girosco.blogspot.com.es/>

<https://www.ecured.cu/Giroscopio>

<http://historiainventos.blogspot.com.es/2014/02/giroscopio.html>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/gyr.html>

<http://www.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/Chini.pdf>

<http://cursos.olimex.cl/giroscopio/>

<http://emecee2.wixsite.com/giroscopiom/introduccion>

Antecedents:

<http://litmotors.com/c1/>

<http://www.jyrobike.com/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Jyrobike>

<https://www.kickstarter.com/projects/529668138/jyrobike-auto-balance-bicycle>

Càlculs previs bicicleta:

<http://www2.eng.cam.ac.uk/~hemh1/gyrobike.htm>

<http://lafabricicleta.blogspot.com.es/2011/04/dinamica-de-la-bicicleta-por-jose-luis.html>

http://www.anpebadajoz.es/autodidacta/autodidacta_archivos/numero_1_archivos/l_m_gonzalez_feb10.pdf

https://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica_de_la_bicicleta_y_la_motocicleta

https://www.ucm.es/data/cont/docs/76-2013-11-08-00_01_Angular_momentum_in_a_bicycle_wheel.pdf

Geometria bicicleta:

<https://www.orbea.com/es-es/bicicletas/diem-50>

Dimensionat components:

Motor:

http://www.maxonmotor.es/medias/sys_master/root/8825435389982/17-EN-271.pdf

Rodaments:

<http://www.eurobearings.es/rodamientos-de-aguijas/>

http://www.eurobearings.es/ecatalogos/eCatalogo_Rodamientos-de-Aguijas-y-Rodillos/index.html

<http://www.baleromex.com/catalogos/C-FAG.pdf>

Controladora:

http://www.maxonmotor.es/medias/sys_master/root/8818448924702/438725-ESCON-Module-50-5-Referencia-del-Dispositivo-Es.pdf

Placa mare:

<http://www.maxonmotor.com/maxon/view/product/438779>

Engranatges:

[https://dpk3n3gg92jwt.cloudfront.net/domains/designatronics/pdf/QTC%20\(146\).pdf](https://dpk3n3gg92jwt.cloudfront.net/domains/designatronics/pdf/QTC%20(146).pdf)

[https://dpk3n3gg92jwt.cloudfront.net/domains/designatronics/pdf/QTC%20\(147\).pdf](https://dpk3n3gg92jwt.cloudfront.net/domains/designatronics/pdf/QTC%20(147).pdf)

http://kbam.geampod.com/kbam/reflection/assets/thumbnail/7106_8.pdf

http://media.quadrantplastics.com/fileadmin/quadrant/documents/QEPP/EU/Product_Data_Sheets_PDF/GEP/Nylatron_MC_901_PDS_E_25012011.pdf

<http://khkgears.net/gear-knowledge/gear-technical-reference/design-of-plastic-gears/>

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn151.html>

Disc inèrcia:

<http://en1.spinning.com/spinner-sport-flywheel/>

Anells elàstics:

<http://www.eurobearings.es/ecatalogos/eCatalogo-anillos-elasticos-nbs/catalogo-anillos-elasticos-nbs.pdf>

Bateria:

<https://www.rcocio.com/bateria-lipo-3200mah-20-40c-3s-11-1v>

<https://www.digikey.es/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>

<http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>

LED:

http://www.micropik.com/pag_leds_caracteristicas.htm

Fulla acrílica difusor LED:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/yongtek-matte-pattern-led-light-diffuser-acrylic-sheet-60173537160.html>

Sensor Hall:

<http://es.farnell.com/hamlin/55100-3m-02-a/sensor-hall-effect-mini-flange/dp/5052580>

Pressupost:

Rodaments FAG:

<http://frain.es:8090/tarifa.php?marca=FAG>

Rodaments NBS:

<http://minettigroup.com/portals/0/home/LISTINO%20PUBBLICO.pdf>

Plàstic transparent:

<http://www.aki.es/productos/vidrio-plastico-transparente/idp24353>

Plàstic carcassa:

<http://www.mabenshop.es/Lamina-MORTERPLAS-POLIMERICA-4-KG-PE>

Tornilleria:

<http://www.wurth.es/tornilleria>

<https://www.ferreonline.es/productos/tornilleria/tornilleria-allen-din-912/f-22000-22002-20/>

Eix del darrere:

<http://www.pepebikes.com/cierres-de-rueda/20457-eje-de-rueda-trasera-rock-shox-maxle-lite-12-x-150-mms.html>

Disc alumini:

<http://www.datosmacro.com/materias-primas/aluminio>

Components bicicleta:

<http://www.chainreactioncycles.com/es>

Port usb:

<http://www.diotronic.com/780/informatica/conectores-y-adaptadores/conectores-usb/>

Cost operacions mà d'obra:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9055/Presupuesto.pdf>

Materials:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3214/45062-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Alumini>

<http://elementos.org.es/titanio>

<http://www.smp.es/propmecti>

<http://www.quadrantplastics.com/es/productos/plasticos-mecanizables/ingenieria-80-160-c/productos-ertalon-R-y-nylatron-R/nylatron-R-mc-901.html>

Toleràncies:

<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/ingenieria-grafica/material-de-clase-1/4.1%20Tolerancias.pdf>

<http://www.imh.eus/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/proyecto-medicion-tridimensional-en-fabricacion-mecanica-con-equipos-portables/tolerancias-dimensionales>

<http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/shaft-housing-tolerances-fits/index.html>

Fonts campus virtual:

- Teoria de màquines: Engranatges, reducció a 1 grau de llibertat.
- Disseny de màquines: dimensionat engranatges i rodaments.
- Mecatrònica II: actuadors elèctrics.
- Mecatrònica III: transistors i sistemes de control.
- Tecnologies de fabricació: toleràncies i rugositat.
- Materials per la fabricació: propietats mecàniques materials.
- Teoria de mecanismes: velocitats de rotació, diagrama del sòlid lliure.

11. Annexos

Annex A – Càlculs justificatius

Determinació del centre de masses del conjunt:

És precís concretar el centre de masses o de gravetat del conjunt (bicicleta + ciclista) per saber aquesta força-pes on serà aplicada exactament. A continuació es veurà una aproximació d'aquest centre de masses, el qual s'ha calculat a partir del centre de masses del ciclista i del centre de masses de la bicicleta.

La bicicleta de l'anàlisi es basarà en una bicicleta de passeig de roda de 29" i de talla mitjana per un usuari estàndard d'uns 170-175 cm. El pes de la bicicleta serà orientatiu ja que no es coneix encara el pes de tot el conjunt del sistema giroscopi. A continuació es té la taula dels paràmetres:

Taula 19. Paràmetres determinació centre de masses		
	Símbol i unitats	Valor
Pes ciclista	m_c (kg)	75
Pes bicicleta	m_b (kg)	19
Longitud entre eixos rodes	L_e (m)	1,1
Radi de les rodes	r (m)	0,3685
Centre de masses ciclista	G_C (coordenada x; coordenada y)	(400;1168,5)
Centre de masses bicicleta	G_B (coordenada x; coordenada y)	(500;668,5)

Sabent les dimensions i els paràmetres del plantejament, només cal calcular la posició del centre de masses a partir de les següents equacions:

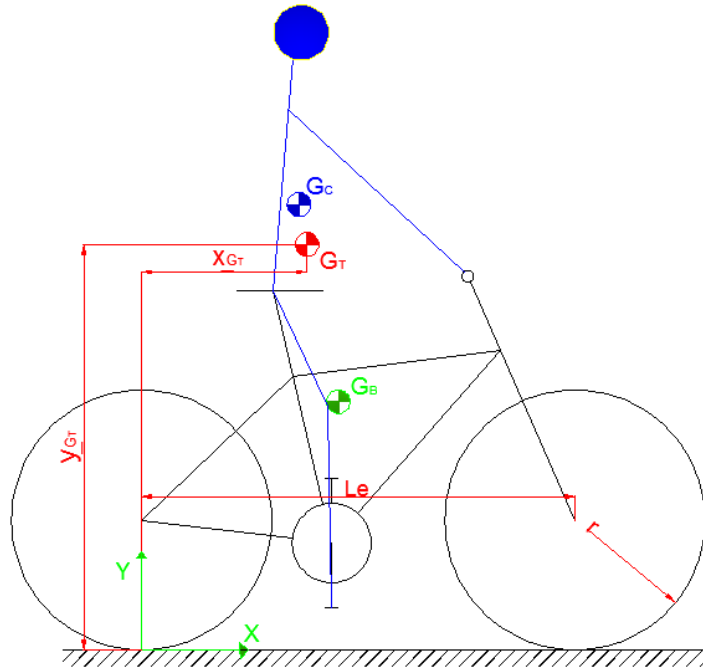
$$x_{G_T} = \frac{x_{G_B} \cdot m_B + x_{G_C} \cdot m_C}{m_T} = \frac{500 \cdot 10,7 + 400 \cdot 75}{85,7} = 412,485 \approx 413$$

$$y_{G_T} = \frac{y_{G_B} \cdot m_B + y_{G_C} \cdot m_C}{m_T} = \frac{668,5 \cdot 10,7 + 1168,5 \cdot 75}{85,7} = 1106,07 \approx 1106$$

Finalment el centre de masses calculat té les següents coordenades:

$$G_T = (x_{G_T}, y_{G_T}) = (413, 1106)$$

Figura 48. Esquema del conjunt del sistema amb el seu centre de masses G_T respectiv.



Determinació moments d'inèrcia:

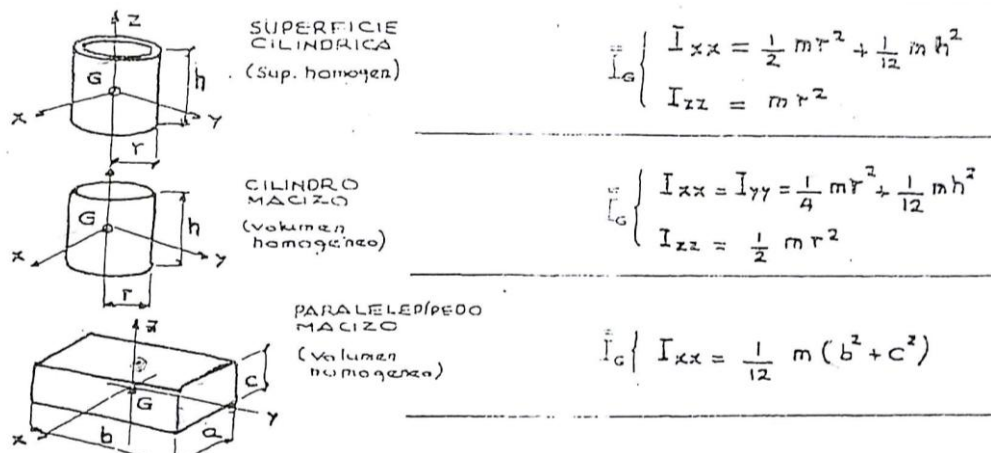


Figura 49. Propietats geomètriques de les figures.

Moment d'inèrcia del disc

Abans de determinar el moment d'inèrcia del disc, es dimensiona un radi del disc que sigui d'una mesura concreta per què pugui entrar dins la llanta de la roda modelada al *Solidworks* (diàmetre espai interior 560 mm) i un pes que no suposi una càrrega addicional pel ciclista però que a la vegada suposi la suficient inèrcia de rotació. Tenint en compte aquesta justificació, les característiques del disc seran les següents:

$$r = 0,27 \text{ m}$$

$$m = 4,5 \text{ kg}$$

Amb aquestes dos dades ja es pot aproximar el moment d'inèrcia del volant d'inèrcia o disc. Es suposarà un disc uniforme d'aquest radi i aquest pes en l'eix z que és el que travessa perpendicularment el disc:

$$I_d = I_{zz} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = 0,5 \cdot 4,5 \cdot 0,27^2 = \mathbf{0,164 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Moment d'inèrcia roda davantera

En la roda davantera es calcula el propi moment d'inèrcia de la llanta i el neumàtic. Així doncs, s'aplicarà la equació de moment d'inèrcia d'un anell en el seu eix perpendicular que el travessa.

Es té que:

$$r = 0,3685 \text{ m}$$

$$m = 1,8 \text{ kg}$$

Per tant:

$$I_{rd} = 1,8 \cdot 0,3685^2 = \mathbf{0,244 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Moment d'inèrcia roda del darrere

Es procedeix a realitzar el mateix càlcul que la roda del davant però aquesta roda té un pes una mica superior (la roda del darrere sempre pesa més que la roda del davant).

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$r = 0,3685 \text{ m}$$

$$I_{rt} = 2 \cdot 0,3685^2 = \mathbf{0,2716 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Moment d'inèrcia conjunt

A l'hora de calcular el moment d'inèrcia del conjunt, es té en compte el moment d'inèrcia del quadre de la bicicleta i el moment d'inèrcia del propi ciclista.

Primer es calcula el moment d'inèrcia del quadre, el qual resulta una mica més complicat ja que s'ha de dividir el quadre per parts i realitzar una geometria concreta del quadre, per aproximar el moment d'inèrcia.

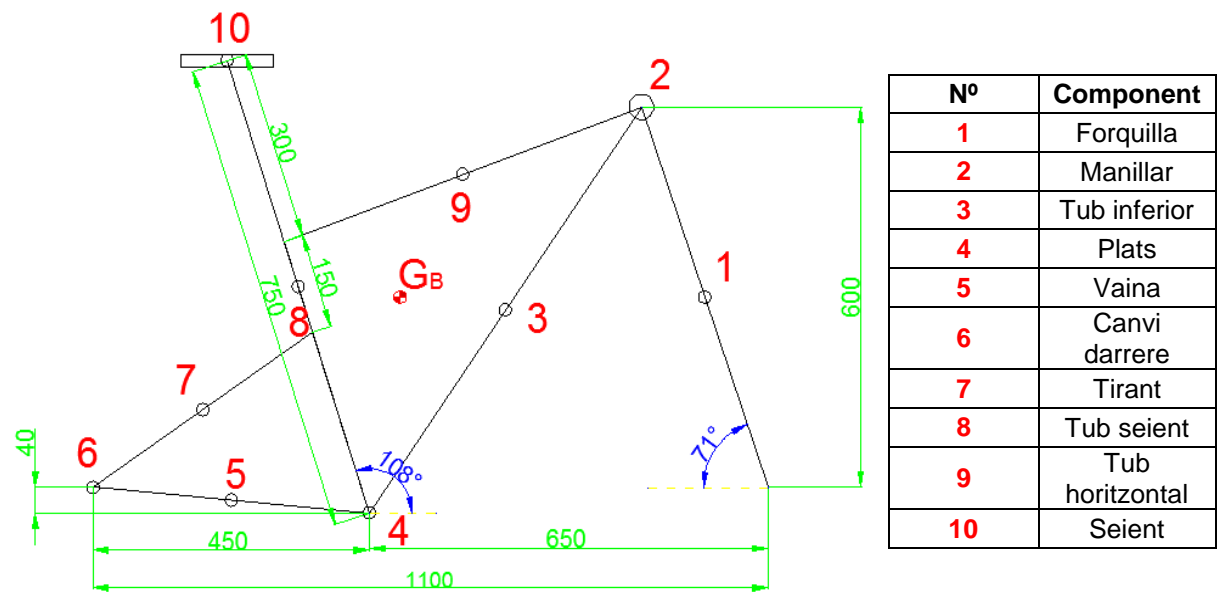


Figura 50. Geometria de la bicicleta amb les dimensions, les parts de la bicicleta i el seu centre de masses.

Per tant el quadre es dividirà en 10 centres de massa de cada una de les 10 parts. Es calcularà el moment d'inèrcia de cada una d'elles i pel teorema de Steiner es passaran al centre de masses de la bicicleta. El teorema de Steiner és el següent:

$$I_o = I_G + m \cdot (d_{G-o})^2$$

On:

I_o : és el moment d'inèrcia del cos segons l'eix que no passa a través del seu centre de masses.

I_G : és el moment d'inèrcia del cos segons un eix que passa a través del seu centre de masses.

m : és la massa de l'objecte.

d_{G-o} : és la distància perpendicular entre els dos eixos.

Coneixent el teorema de Steiner es calcula els moments d'inèrcia de cada una de les parts del quadre:

Forquilla:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_1}$ (m)
0,03	0,635	2	0,497

Nota: la distància perpendicular entre la part del quadre i el centre de masses són calculades a partir de la geometria del quadre i de les coordenades del centre de masses.

$$I_{G_1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_1} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,03^2 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 0,635^2 = 0,0681 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B1}} = 0,0681 + 2 \cdot 0,497^2 = \mathbf{0,56 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Manillar:

Radi (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_2}$ (m)
0,02	0,3	0,495

$$I_{G_2} = m \cdot r^2 \text{ (eix z superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_2} = 0,3 \cdot 0,02^2 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B2}} = 1,2 \cdot 10^{-4} + 0,3 \cdot 0,495^2 = \mathbf{0,074 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Tub inferior:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_3}$ (m)
0,04	0,779	1,3	0,173

$$I_{G_3} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_3} = \frac{1}{2} \cdot 1,3 \cdot 0,04^2 + \frac{1}{12} \cdot 1,3 \cdot 0,779^2 = 0,067 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B3}} = 0,067 + 1,3 \cdot 0,173^2 = \mathbf{0,106 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Plats:

Inèrcia plats (kg·m ²)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_4}$ (m)
0,00881	1,5	0,344

Nota: Inèrcia dels plats extreta del modelatge Solidworks,

$$I_{G_{B4}} = 0,00881 + 1,5 \cdot 0,344^2 = \mathbf{0,186 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Vaina:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_5}$ (m)
0,02	0,452	1	0,422

$$I_{G_5} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_5} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,02^2 + \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,452^2 = 0,017 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B5}} = 0,017 + 1 \cdot 0,422^2 = \mathbf{0,195 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Canvi darrere:

Radi (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_6}$ (m)
0,06	0,5	0,583

$$I_{G_6} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \text{ (eix z cilindre)}$$

$$I_{G_6} = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,06^2 = 0,0009 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B6}} = 0,0009 + 0,5 \cdot 0,583^2 = \mathbf{0,171 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Tirant:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_7}$ (m)
0,02	0,433	1	0,367

$$I_{G_7} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_7} = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,02^2 + \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 0,433^2 = 0,0158 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B7}} = 0,0158 + 1 \cdot 0,367^2 = \mathbf{0,151 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Tub seient:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_8}$ (m)
0,03	0,75	2	0,167

$$I_{G_8} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_8} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0,03^2 + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 0,75^2 = 0,095 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B8}} = 0,095 + 2 \cdot 0,167^2 = \mathbf{0,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Tub horitzontal:

Radi (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_9}$ (m)
0,04	0,62	0,8	0,219

$$I_{G_9} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2 \text{ (eix x superfície cilíndrica)}$$

$$I_{G_9} = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 0,04^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,8 \cdot 0,62^2 = 0,0263 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B9}} = 0,0263 + 0,8 \cdot 0,219^2 = \mathbf{0,065 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Seient:

Alçada (m)	Llargada (m)	Massa (kg)	$d_{G_B-G_{10}}$ (m)
0,02	0,15	0,3	0,468

$$I_{G_{10}} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (h^2 + l^2) \text{ (eix x paral·lelepípede)}$$

$$I_{G_{10}} = \frac{1}{12} \cdot 0,3 \cdot (0,02^2 + 0,15^2) = 5,725 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{G_{B10}} = 5,725 \cdot 10^{-4} + 0,3 \cdot 0,468^2 = \mathbf{0,066 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Havent calculat els moments d'inèrcia de cada part de la bicicleta, es calcula el total:

$$I_{GB} = 0,56 + 0,074 + 0,106 + 0,186 + 0,195 + 0,171 + 0,151 + 0,15 + 0,065 + 0,066 = \mathbf{1,724 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

$$m_B = 10,7 \text{ kg}$$

Es calcula el moment d'inèrcia del ciclista, que es considerarà un cilindre homogeni amb les següents característiques:

Radi (m)	Massa (kg)	Alçada (m)
0,25	75	1,75

$$I_{Gc} = \frac{1}{4} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{12} \cdot m \cdot h^2$$

$$I_{Gc} = \frac{1}{4} \cdot 75 \cdot 0,25^2 + \frac{1}{12} \cdot 75 \cdot 1,75^2 = \mathbf{20,31 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Tenint els moments d'inèrcia del ciclista i el quadre de la bicicleta es vol saber el total i es realitzarà a partir del teorema de Steiner prèviament explicat aplicant aquestes distàncies (extretes a partir de les coordenades dels centres de massa):

$$d_{GB-GT} = 0,4461 \text{ m}$$

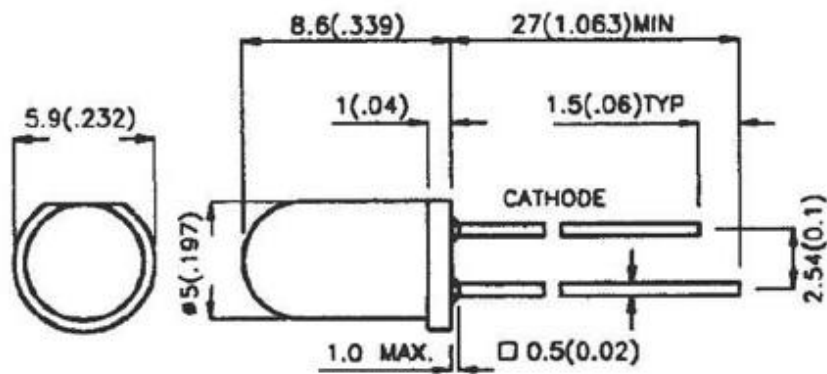
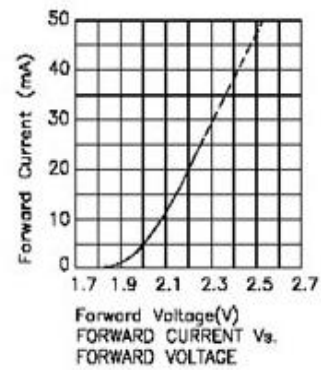
$$d_{Gc-GT} = 0,064 \text{ m}$$

Per tant el moment d'inèrcia total serà:

$$I_{cq} = I_{GT} = I_{GTB} + I_{GTC} = (1,724 + 10,7 \cdot 0,4461^2) + (20,31 + 75 \cdot 0,064^2) = \mathbf{24,471 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Annex B- Catàlegs fabricants

LED 5 MM



maxon flat motor



Part Numbers

Motor Data

Values at nominal voltage

Specifications

Thermal data		
17	Thermal resistance housing-ambient	1.91 K/W
18	Thermal resistance winding-housing	2.6 K/W
19	Thermal time constant winding	46 s
20	Thermal time constant motor	283 s
21	Ambient temperature	-40...+100°C
22	Max. winding temperature	+125°C

Mechanical data (preloaded ball bearings)		
23	Max. speed	5000 rpm
24	Axial play at axial load < 15 N	0 mm
	> 15 N	0.14 mm
25	Radial play	preloaded
26	Max. axial load (dynamic)	12 N
27	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	183 N 8000 N
28	Max. radial load, 5 mm from flange	68 N

Other specifications

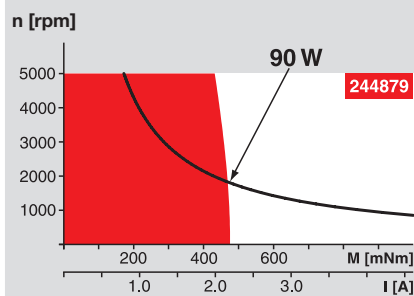
Connection

Pin 1	Hall sensor 1
Pin 2	Hall sensor 2
Pin 3	V_{Hall} 4.5...18 VDC
Pin 4	Motor winding 3
Pin 5	Hall sensor 3
Pin 6	GND
Pin 7	Motor winding 1
Pin 8	Motor winding 2

Wiring diagram for Hall sensors

Cable	
Connection cable Universal, L = 500 mm	339380
Connection cable to EPOS2, L = 500 mm	354045

Operating Range



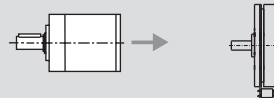
Continuous operation
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
= Thermal limit.

Short term operation
The motor may be briefly overloaded (recurring).

—— Assigned power rating

maxon Modular System

Planetary Gearhead
 Ø52 mm
 4 - 30 Nm
 Page 355



Encoder MILE
512 - 6400 CPT,
2 channels
Page 381

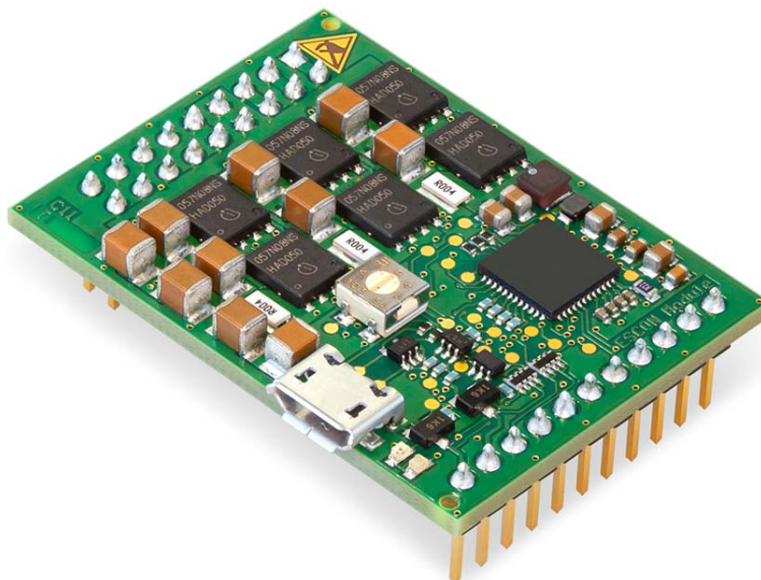
Recommended Electronics:	
Notes	Page 26
ESCON Mod. 50/4 EC-S	417
ESCON Mod. 50/5	417
ESCON 50/5	418
ESCON 70/10	418
DEC Module 50/5	420
EPOS2 24/5, 50/5, 70/10	425
EPOS2 P 24/5	428
EPOS4 Module 50/8	431
EPOS4 Comp. 50/8 CAN	431
MAXPOS 50/5	435

ESCON Module 50/5

Servo Controller

P/N 438725

Hardware Reference



escon.maxonmotor.com

Document ID: rel5744

2 Specifications

2.1 Technical Data

ESCON Module 50/5 (438725)		
Electrical Rating	Nominal operating voltage $+V_{CC}$	10...50 VDC
	Absolute operating voltage $+V_{CC \min}/+V_{CC \max}$	8 VDC/56 VDC
	Output voltage (max.)	$0.98 \times +V_{CC}$
	Output current I_{cont}/I_{max} (<20 s)	5 A/15 A
	Pulse width modulation frequency	53.6 kHz
	Sampling rate of PI current controller	53.6 kHz
	Sampling rate of PI speed controller	5.36 kHz
	Max. efficiency	98%
	Max. speed of DC motor	limited by max. permissible speed (motor) and max. output voltage (controller)
	Max. speed EC motor	150,000 rpm (1 pole pair)
	Built-in motor choke	—
Inputs & Outputs	Analog input 1 Analog input 2	12-bit resolution; $-10...+10$ V; differential
	Analog output 1 Analog output 2	12-bit resolution ; $-4...+4$ V; referenced to GND
	Digital input 1 Digital input 2	$+2.4...+36$ VDC ($R_i = 38.5$ k Ω)
	Digital input/output 3 Digital input/output 4	$+2.4...+36$ VDC ($R_i = 38.5$ k Ω)/max. 36 VDC ($I_L < 500$ mA)
	Hall sensor signals	H1, H2, H3
	Encoder signals	A, A\, B, B\, (max. 1 MHz)
Voltage Outputs	Auxiliary output voltage	+5 VDC ($I_L \leq 10$ mA)
	Hall sensor supply voltage	+5 VDC ($I_L \leq 30$ mA)
	Encoder supply voltage	+5 VDC ($I_L \leq 70$ mA)
Potentiometer	Potentiometer P1 (on board)	210°; linear
Motor Connections	DC motor	+ Motor, – Motor
	EC motor	Motor winding 1, Motor winding 2, Motor winding 3
Interface	USB 2.0 / USB 3.0	full speed
Status Indicators	Operation	green LED
	Error	red LED
Physical	Weight	approx. 12 g
	Dimensions (L x W x H)	43.2 x 31.8 x 12.7 mm
	Connection	Plugs into socket headers with 2.54 mm pitch

ESCON Module 50/5 (438725)			
Environmental Conditions	Temperature	Operation	-30...+45 °C
		Extended range ^{*1)}	+45...+75 °C Derating → Figure 2-1
		Storage	-40...+85 °C
	Altitude ^{*2)}	Operation	0...6'000 m MSL
		Extended range ^{*1)}	6'000...10'000 m MSL Derating → Figure 2-1
	Humidity	5...90% (condensation not permitted)	

*1) Operation within the extended range (temperature and altitude) is permitted. However, a respective derating (declination of output current I_{cont}) as to the stated values will apply.

*2) Operating altitude in meters above Mean Sea Level, MSL.

Table 2-4 Technical Data

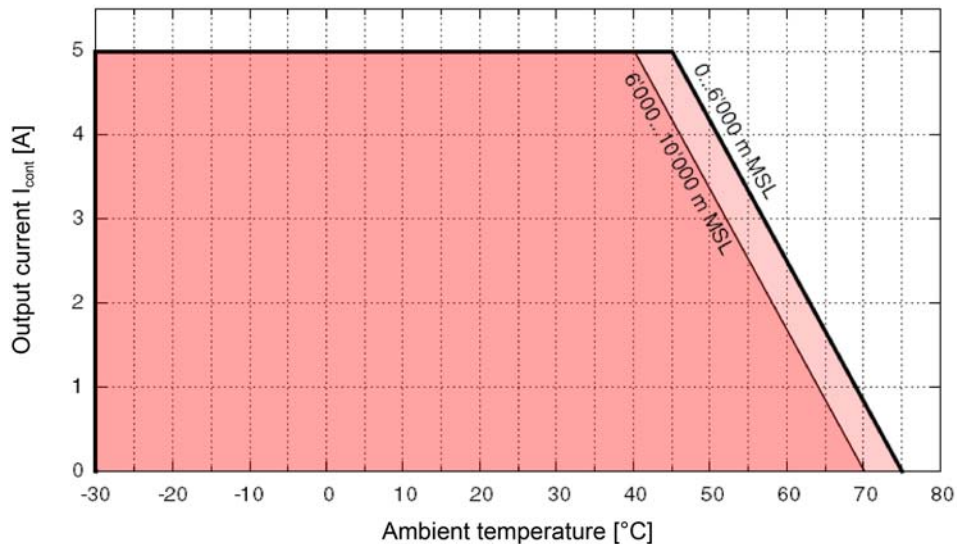


Figure 2-1 Derating Output Current

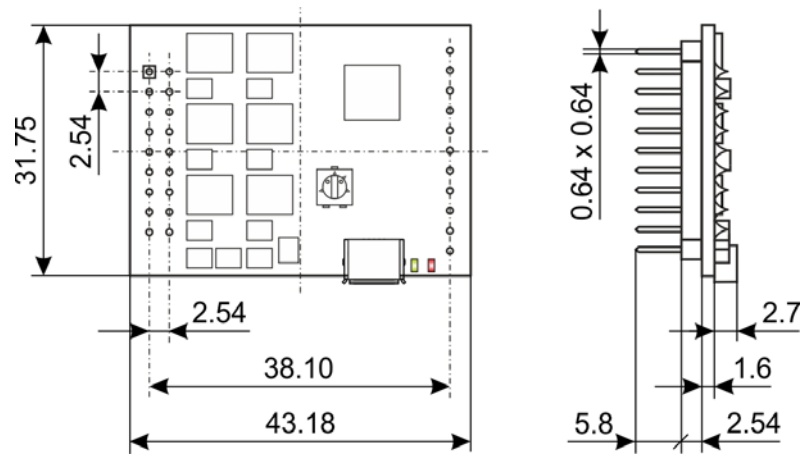


Figure 2-2 Dimensional Drawing [mm]

3.3 Connections

The actual connection will depend on the overall configuration of your drive system and the type of motor you will be using.

Follow the description in the given order and choose the wiring diagram that best suits the components you are using. For corresponding wiring diagrams → Chapter “4 Wiring” on page 4-25.

3.3.1 Pin Assignment



Figure 3-3 Pin Assignment

Pin	Signal	Description
1/2	Motor (+M) Motor winding 1	DC motor: Motor + EC motor: Winding 1
3/4	Motor (-M) Motor winding 2	DC motor: Motor - EC motor: Winding 2
5/6	Motor winding 3	EC motor: Winding 3
7/8	+V _{CC}	Nominal operating voltage (+10...+50 VDC)
9/10	Power_GND GND	Ground of operating voltage Ground
11	+5 VDC	Hall sensor supply voltage (+5 VDC; ≤30 mA) Encoder supply voltage (+5 VDC; ≤70 mA) Auxiliary output voltage (+5 VDC; ≤10 mA)
12	Channel A	Encoder channel A
13	Hall sensor 1	Hall sensor 1 input
14	Channel A\	Encoder channel A complement
15	Hall sensor 2	Hall sensor 2 input
16	Channel B	Encoder channel B
17	Hall sensor 3	Hall sensor 3 input
18	Channel B\	Encoder channel B complement

Table 3-6 Pin Assignment (Pins 1-18)



Figure 3-4 Pin Assignment

Pin	Signal	Description
19	DigIN/DigOUT4	Digital input/output 4
20	DigIN/DigOUT3	Digital input/output 3
21	DigIN2	Digital input 2
22	DigIN1	Digital input 1
23	GND	Ground
24	AnOUT2	Analog output 2
25	AnOUT1	Analog output 1
26	AnIN2–	Analog input 2, negative signal
27	AnIN2+	Analog input 2, positive signal
28	AnIN1–	Analog input 1, negative signal
29	AnIN1+	Analog input 1, positive signal

Table 3-7 Pin Assignment (Pins 19-29)

5.7 ESCON Module Motherboard (438779)

The ESCON Module Motherboard (subsequently named ESCON Module MoBo) is available as an alternative to developing an own motherboard. All required connections are already in place and designed as screw-type terminals.

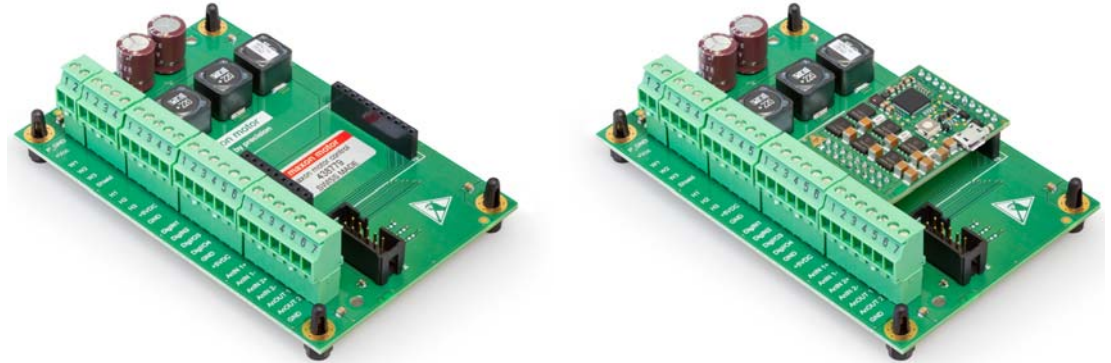


Figure 5-27 ESCON Module MoBo (left), with mounted ESCON Module 50/5 (right)

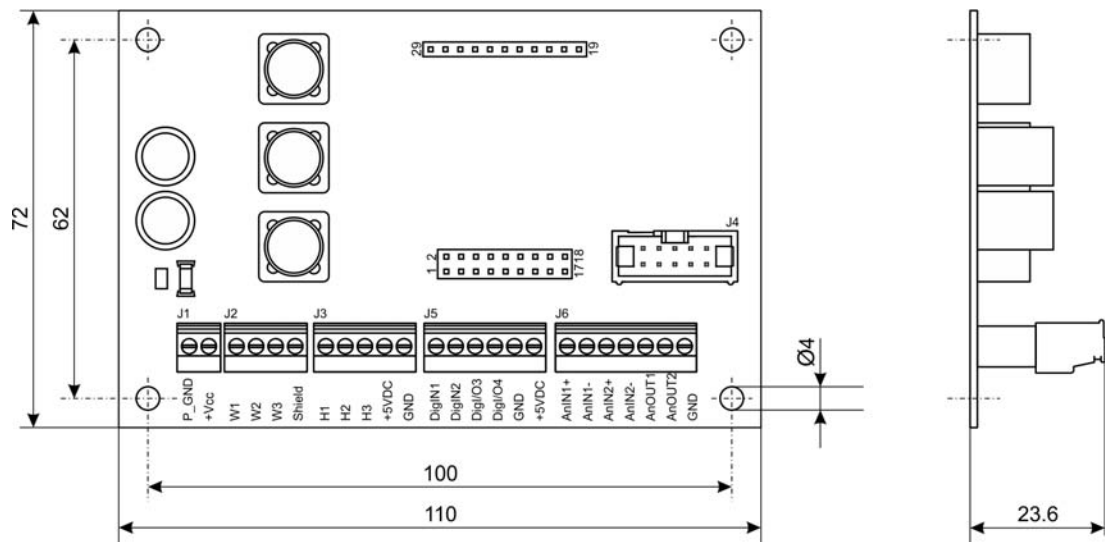
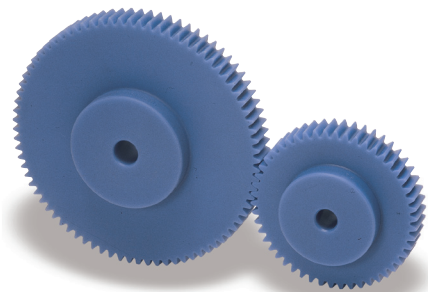
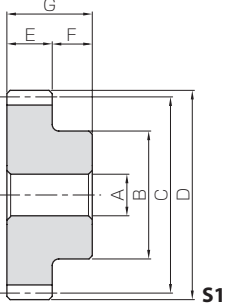


Figure 5-28 ESCON Module MoBo – Dimensional Drawing [mm]



Specifications	
Precision grade	JIS grade N9 (JIS B1702-1: 1998)* JIS grade 5 (JIS B1702: 1976)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	MC901
Heat treatment	—
Tooth hardness	(115~120HRR)

*The precision grade of this product is equivalent to the value shown in the table.



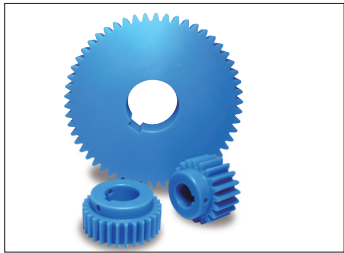
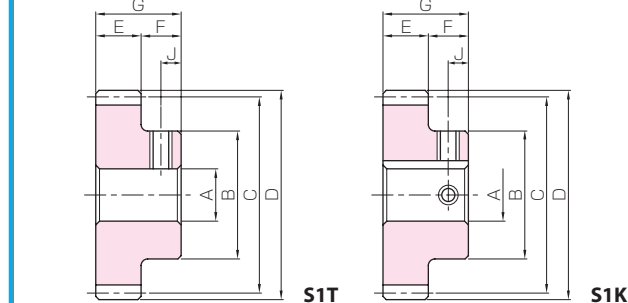
Catalog No. ●: J Series (Available-on-request)	Module	No. of teeth	Shape	Bore	Hub dia.	Pitch dia.	Outside dia.	Face width	Hub width	Total length
				A	B	C	D	E	F	G
KPS1.5-32 ●KPS1.5-32J8 ●KPS1.5-32J10 ●KPS1.5-32J12 ●KPS1.5-32J14 ●KPS1.5-32J15 ●KPS1.5-32J16 ●KPS1.5-32J17 ●KPS1.5-32J18 ●KPS1.5-32J19 ●KPS1.5-32J20 ●KPS1.5-32J22	m1.5	32	S1	8	40	48	51	15	10	25
S1T			8							
S1K			10							
S1K			12							
S1K			14							
S1K			15							
S1K			16							
S1K			17							
S1K			18							
S1K			19							
S1K			20							
S1K			22							
KPS1.5-35 ●KPS1.5-35J8 ●KPS1.5-35J10 ●KPS1.5-35J12 ●KPS1.5-35J14 ●KPS1.5-35J15 ●KPS1.5-35J16 ●KPS1.5-35J17 ●KPS1.5-35J18 ●KPS1.5-35J19 ●KPS1.5-35J20 ●KPS1.5-35J22		35	S1	8	42	52.5	55.5	15	10	25
S1T			8							
S1K			10							
S1K			12							
S1K			14							
S1K			15							
S1K			16							
S1K			17							
S1K	18									
S1K	19									
S1K	20									
S1K	22									
KPS1.5-36 ●KPS1.5-36J8 ●KPS1.5-36J10 ●KPS1.5-36J12 ●KPS1.5-36J14 ●KPS1.5-36J15 ●KPS1.5-36J16 ●KPS1.5-36J17 ●KPS1.5-36J18 ●KPS1.5-36J19 ●KPS1.5-36J20 ●KPS1.5-36J22 ●KPS1.5-36J25	36	S1	8	45	54	57	15	10	25	
S1T		8								
S1K		10								
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K	25									
KPS1.5-40 ●KPS1.5-40J10 ●KPS1.5-40J12 ●KPS1.5-40J14 ●KPS1.5-40J15 ●KPS1.5-40J16 ●KPS1.5-40J17 ●KPS1.5-40J18 ●KPS1.5-40J19 ●KPS1.5-40J20 ●KPS1.5-40J22 ●KPS1.5-40J25	40	S1	10	45	60	63	15	10	25	
S1K		10								
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K		25								
KPS1.5-45 ●KPS1.5-45J10 ●KPS1.5-45J12 ●KPS1.5-45J14 ●KPS1.5-45J15 ●KPS1.5-45J16 ●KPS1.5-45J17 ●KPS1.5-45J18 ●KPS1.5-45J19 ●KPS1.5-45J20 ●KPS1.5-45J22 ●KPS1.5-45J25	45	S1	10	45	67.5	70.5	15	10	25	
S1K		10								
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K		25								

[Caution on Product Characteristics]

Significant variations in temperature or humidity can cause dimensional changes in plastic gears (MC Nylon gears), including bore size (H8 when produced), tooth diameter, and backlash. The allowable torques shown in the table are calculated values according to the assumed usage conditions. Please see page 35 for more details.

No. of Teeth available

15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	35	36	40	45	48	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

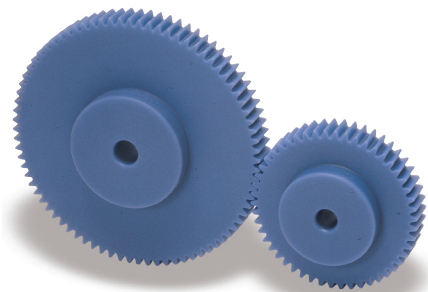


Keyway	Set Screw		Allowable torque (N-m)	Allowable torque (kgf-m)	Backlash (mm)	Weight (kg)	Catalog No. ●: J Series (Available-on-request)
	Width×Depth	Size	J	Bending strength			
— 4 × 1.8 4 × 1.8 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8	— M5 M4* M4 M4 M4 M4 M5 M5 M5 M5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76 3.76	— 0.045 0.044 0.043 0.042 0.041 0.040 0.040 0.039 0.038 0.037 0.036 0.034	— 0.045 0.044 0.043 0.042 0.041 0.040 0.040 0.039 0.038 0.037 0.036 0.034	KPS1.5-32 ●KPS1.5-32J8 ●KPS1.5-32J10 ●KPS1.5-32J12 ●KPS1.5-32J14 ●KPS1.5-32J15 ●KPS1.5-32J16 ●KPS1.5-32J17 ●KPS1.5-32J18 ●KPS1.5-32J19 ●KPS1.5-32J20 ●KPS1.5-32J22
— 4 × 1.8 4 × 1.8 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8	— M5 M4* M4* M4 M4 M4 M5 M5 M5 M5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22 4.22	— 0.052 0.052 0.051 0.050 0.049 0.048 0.047 0.046 0.045 0.045 0.044 0.042	— 0.052 0.052 0.051 0.050 0.049 0.048 0.047 0.046 0.045 0.045 0.044 0.042	KPS1.5-35 ●KPS1.5-35J8 ●KPS1.5-35J10 ●KPS1.5-35J12 ●KPS1.5-35J14 ●KPS1.5-35J15 ●KPS1.5-35J16 ●KPS1.5-35J17 ●KPS1.5-35J18 ●KPS1.5-35J19 ●KPS1.5-35J20 ●KPS1.5-35J22
— 4 × 1.8 4 × 1.8 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 8 × 3.3	— M5* M4* M4* M4* M4* M4 M5 M5 M5 M6	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38 4.38	— 0.057 0.056 0.055 0.054 0.053 0.052 0.052 0.051 0.050 0.049 0.048 0.046 0.043	— 0.057 0.056 0.055 0.054 0.053 0.052 0.052 0.051 0.050 0.049 0.048 0.046 0.043	KPS1.5-36 ●KPS1.5-36J8 ●KPS1.5-36J10 ●KPS1.5-36J12 ●KPS1.5-36J14 ●KPS1.5-36J15 ●KPS1.5-36J16 ●KPS1.5-36J17 ●KPS1.5-36J18 ●KPS1.5-36J19 ●KPS1.5-36J20 ●KPS1.5-36J22 ●KPS1.5-36J25
— 4 × 1.8 4 × 1.8 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 8 × 3.3	— M4* M4* M4* M4* M4* M4 M5 M5 M5 M6	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00	— 0.065 0.065 0.064 0.062 0.062 0.062 0.061 0.060 0.059 0.058 0.057 0.056 0.052	— 0.065 0.065 0.064 0.062 0.062 0.062 0.061 0.060 0.059 0.058 0.057 0.056 0.052	KPS1.5-40 ●KPS1.5-40J10 ●KPS1.5-40J12 ●KPS1.5-40J14 ●KPS1.5-40J15 ●KPS1.5-40J16 ●KPS1.5-40J17 ●KPS1.5-40J18 ●KPS1.5-40J19 ●KPS1.5-40J20 ●KPS1.5-40J22 ●KPS1.5-40J25
— 4 × 1.8 4 × 1.8 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 5 × 2.3 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 6 × 2.8 8 × 3.3	— M4* M4* M4* M4* M4* M4 M5 M5 M5 M6	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	— 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79 5.79	— 0.078 0.078 0.077 0.075 0.075 0.074 0.073 0.072 0.071 0.071 0.069 0.065	— 0.078 0.078 0.077 0.075 0.075 0.074 0.073 0.072 0.071 0.071 0.069 0.065	KPS1.5-45 ●KPS1.5-45J10 ●KPS1.5-45J12 ●KPS1.5-45J14 ●KPS1.5-45J15 ●KPS1.5-45J16 ●KPS1.5-45J17 ●KPS1.5-45J18 ●KPS1.5-45J19 ●KPS1.5-45J20 ●KPS1.5-45J22 ●KPS1.5-45J25

Without lubrication, using plastic gears in pairs may generate heat and dilation. It is recommended to mate them with steel gears. The backlash values shown in the table are the theoretical values for the backlash in the normal direction of a pair of identical gears in mesh.

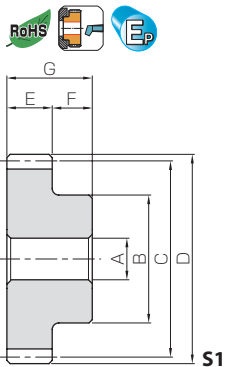
*Please see book one for additional products in these modules.





Specifications	
Precision grade	JIS grade N9 (JIS B1702-1: 1998)* JIS grade 5 (JIS B1702: 1976)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	MC901
Heat treatment	—
Tooth hardness	(115~120HRR)

*The precision grade of this product is equivalent to the value shown in the table.



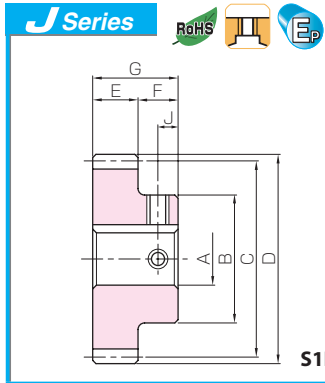
Catalog No. ● : J Series (Available-on-request)	Module	No. of teeth	Shape	Bore	Hub dia.	Pitch dia.	Outside dia.	Face width	Hub width	Total length
				A	B	C	D	E	F	G
KPS1.5-48 ●KPS1.5-48J10 ●KPS1.5-48J12 ●KPS1.5-48J14 ●KPS1.5-48J15 ●KPS1.5-48J16 ●KPS1.5-48J17 ●KPS1.5-48J18 ●KPS1.5-48J19 ●KPS1.5-48J20 ●KPS1.5-48J22 ●KPS1.5-48J25	m1.5	48	S1	10	45	72	75	15	10	25
S1K			10							
S1K			12							
S1K			14							
S1K			15							
S1K			16							
S1K			17							
S1K			18							
S1K			19							
S1K			20							
S1K			22							
S1K			25							
KPS1.5-50 ●KPS1.5-50J10 ●KPS1.5-50J12 ●KPS1.5-50J14 ●KPS1.5-50J15 ●KPS1.5-50J16 ●KPS1.5-50J17 ●KPS1.5-50J18 ●KPS1.5-50J19 ●KPS1.5-50J20 ●KPS1.5-50J22 ●KPS1.5-50J25		50	S1	10	45	75	78	15	10	25
S1K			10							
S1K			12							
S1K			14							
S1K			15							
S1K			16							
S1K			17							
S1K			18							
S1K	19									
S1K	20									
S1K	22									
S1K	25									
KPS1.5-55 ●KPS1.5-55J10 ●KPS1.5-55J12 ●KPS1.5-55J14 ●KPS1.5-55J15 ●KPS1.5-55J16 ●KPS1.5-55J17 ●KPS1.5-55J18 ●KPS1.5-55J19 ●KPS1.5-55J20 ●KPS1.5-55J22 ●KPS1.5-55J25	55	S1	10	45	82.5	85.5	15	10	25	
S1K		10								
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K		25								
KPS1.5-60 ●KPS1.5-60J10 ●KPS1.5-60J12 ●KPS1.5-60J14 ●KPS1.5-60J15 ●KPS1.5-60J16 ●KPS1.5-60J17 ●KPS1.5-60J18 ●KPS1.5-60J19 ●KPS1.5-60J20 ●KPS1.5-60J22 ●KPS1.5-60J25 ●KPS1.5-60J28	60	S1	10	50	90	93	15	10	25	
S1K		10								
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K		25								
S1K	28									
KPS1.5-65 ●KPS1.5-65J12 ●KPS1.5-65J14 ●KPS1.5-65J15 ●KPS1.5-65J16 ●KPS1.5-65J17 ●KPS1.5-65J18 ●KPS1.5-65J19 ●KPS1.5-65J20 ●KPS1.5-65J22 ●KPS1.5-65J25 ●KPS1.5-65J28	65	S1	12	50	97.5	100.5	15	10	25	
S1K		12								
S1K		14								
S1K		15								
S1K		16								
S1K		17								
S1K		18								
S1K		19								
S1K		20								
S1K		22								
S1K		25								
S1K		28								

[Caution on Product Characteristics]

Significant variations in temperature or humidity can cause dimensional changes in plastic gears (MC Nylon gears), including bore size (H8 when produced), tooth diameter, and backlash.

No. of Teeth available

15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	35	36	40	45	48	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



Keyway	Set Screw		Allowable torque (N-m)		Backlash (mm)	Weight (kg)	Catalog No. ●: J Series (Available-on-request)
	Width×Depth	Size	J	Bending strength			
—	—	—	—	6.27	0~0.40	0.087	KPS1.5-48 ●KPS1.5-48J10 ●KPS1.5-48J12 ●KPS1.5-48J14 ●KPS1.5-48J15 ●KPS1.5-48J16 ●KPS1.5-48J17 ●KPS1.5-48J18 ●KPS1.5-48J19 ●KPS1.5-48J20 ●KPS1.5-48J22 ●KPS1.5-48J25
4 × 1.8	M4*	5	—			0.086	
4 × 1.8	M4*	5	—			0.085	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.084	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.083	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.082	
5 × 2.3	M4	5	—			0.081	
6 × 2.8	M5	5	—			0.080	
6 × 2.8	M5	5	—			0.079	
6 × 2.8	M5	5	—			0.077	
6 × 2.8	M5	5	—			0.074	
8 × 3.3	M6	5	—			0.093	
—	—	—	—	6.60	0~0.40	0.092	KPS1.5-50 ●KPS1.5-50J10 ●KPS1.5-50J12 ●KPS1.5-50J14 ●KPS1.5-50J15 ●KPS1.5-50J16 ●KPS1.5-50J17 ●KPS1.5-50J18 ●KPS1.5-50J19 ●KPS1.5-50J20 ●KPS1.5-50J22 ●KPS1.5-50J25
4 × 1.8	M4*	5	—			0.091	
4 × 1.8	M4*	5	—			0.090	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.089	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.089	
5 × 2.3	M4	5	—			0.088	
6 × 2.8	M5	5	—			0.087	
6 × 2.8	M5	5	—			0.086	
6 × 2.8	M5	5	—			0.085	
6 × 2.8	M5	5	—			0.083	
6 × 2.8	M5	5	—			0.080	
8 × 3.3	M6	5	—			0.096	
—	—	—	—	7.36	0~0.40	0.11	KPS1.5-55 ●KPS1.5-55J10 ●KPS1.5-55J12 ●KPS1.5-55J14 ●KPS1.5-55J15 ●KPS1.5-55J16 ●KPS1.5-55J17 ●KPS1.5-55J18 ●KPS1.5-55J19 ●KPS1.5-55J20 ●KPS1.5-55J22 ●KPS1.5-55J25
4 × 1.8	M4*	5	—			0.11	
4 × 1.8	M4*	5	—			0.11	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.11	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.11	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.10	
5 × 2.3	M4	5	—			0.10	
6 × 2.8	M5	5	—			0.10	
6 × 2.8	M5	5	—			0.10	
6 × 2.8	M5	5	—			0.10	
6 × 2.8	M5	5	—			0.099	
6 × 2.8	M5	5	—			0.096	
—	—	—	—	8.14	0~0.40	0.13	KPS1.5-60 ●KPS1.5-60J10 ●KPS1.5-60J12 ●KPS1.5-60J14 ●KPS1.5-60J15 ●KPS1.5-60J16 ●KPS1.5-60J17 ●KPS1.5-60J18 ●KPS1.5-60J19 ●KPS1.5-60J20 ●KPS1.5-60J22 ●KPS1.5-60J25 ●KPS1.5-60J28
4 × 1.8	M4*	5	—			0.13	
4 × 1.8	M4*	5	—			0.13	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.13	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.13	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.13	
5 × 2.3	M4*	5	—			0.13	
6 × 2.8	M5	5	—			0.12	
6 × 2.8	M5	5	—			0.12	
6 × 2.8	M5	5	—			0.12	
6 × 2.8	M5	5	—			0.12	
8 × 3.3	M6	5	—			0.12	
8 × 3.3	M6	5	—			0.11	
—	—	—	—	8.91	0~0.40	0.15	KPS1.5-65 ●KPS1.5-65J12 ●KPS1.5-65J14 ●KPS1.5-65J15 ●KPS1.5-65J16 ●KPS1.5-65J17 ●KPS1.5-65J18 ●KPS1.5-65J19 ●KPS1.

Rodamientos FAG de bolas de contacto angular

de doble hilera · Jaulas · Aptitud para altas velocidades · Tratamiento térmico · Rodamientos obturados

Jaulas

Los rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera con jaulas de chapa, no tienen sufijo para la jaula. Los rodamientos con jaulas macizas de latón guiadas por las bolas se reconocen por el sufijo M. El sufijo MA indica que las jaulas son de latón y guiadas en el aro exterior.

Los rodamientos con jaulas de poliamida 66 reforzada con fibra de vidrio (sufijo TVH o TVP) soportan temperaturas constantes de hasta 120° C. Al lubricar con aceite aditivado, este puede perjudicar la vida en servicio de la jaula de poliamida. Un estado envejecido del aceite también puede influir en la vida de servicio de la jaula a elevadas temperaturas por lo cual, es necesario observar los intervalos recomendados para el cambio del aceite (ver página 85).

▼ Jaulas estándar de los rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera

Serie	Jaula de poliamida (TVH, TVP) Número característico del agujero	Jaula maciza de latón (M, MA)	Jaula de chapa
32		19, 21, 22	17, 18, 20
33		17, 19, 20, 22	14 hasta 16, 18
32B	hasta 16		
33B	hasta 13		
33DA	05	08, 10, 11	06, 07, 09, a partir de 12

Bajo demanda también son suministrables otras ejecuciones de jaula. Con tales jaulas el comportamiento a altas velocidades y temperaturas así como las capacidades de carga pueden diferir de los valores indicados para los rodamientos con jaulas estándar.

Aptitud para altas velocidades

Los conceptos generales sobre adaptación a altas velocidades se exponen en las páginas 87 y siguientes.

Bajo condiciones de servicio adecuadas, la velocidad de referencia puede superar a la velocidad límite. En el caso de tener condiciones de servicio especiales, estas deben de tenerse en cuenta para determinar el valor de la velocidad térmicamente permisible de servicio.

Cuando en las tablas se indica una velocidad de referencia mayor que la velocidad límite, no debemos utilizar este valor mayor.

Las restricciones para los rodamientos obturados se describen en correspondiente apartado.

Tratamiento térmico

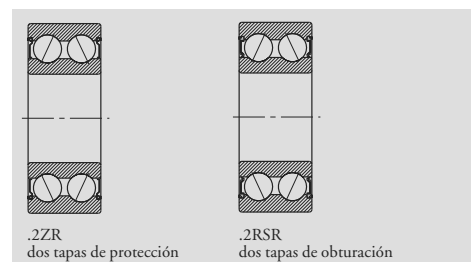
Los rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera FAG se someten a un tratamiento térmico de manera que se pueden utilizar para temperaturas de servicio de hasta 150° C. En los rodamientos con jaula de poliamida ha de observarse el límite térmico de aplicación del material. Para rodamientos obturados es recomendable observar el límite de aplicación estipulado.

Rodamientos obturados

FAG suministra los rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera en las ejecuciones básicas tanto abierta como con tapas de protección ZR (obturaciones no rozantes) o con tapas de obturación RSR (obturaciones rozantes) en ambos lados. Estos rodamientos se llenan en la fábrica con una grasa cuya calidad haya sido examinada según las prescripciones de FAG. Bajo demanda también suministramos rodamientos obturados por un lado.

En los rodamientos con obturaciones rozantes (sufijo .2RSR) es la velocidad deslizante permisible de los labios obturadores la que limita la velocidad de giro, de modo que en las tablas sólo se indica la velocidad límite.

En los rodamientos con tapas de protección no rozantes (sufijo .2ZR) la velocidad límite es más baja que la de los rodamientos abiertos.



En cuanto al comportamiento de los rodamientos obturados frente a altas velocidades, este está descrito en la página 86. El límite inferior de temperatura es de -30° C.

Rodamientos FAG de bolas de contacto angular

de doble hilera · Carga equivalente · Medidas auxiliares · Sufijos

Carga dinámica equivalente

Las fórmulas para la carga equivalente dependen del ángulo de contacto de los rodamientos.

Rodamientos de bolas de contacto angular, series 32B y 33B con un ángulo de contacto $\alpha = 25^\circ$

$$P = F_r + 0,92 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,68$$

$$P = 0,67 \cdot F_r + 1,41 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > 0,68$$

Rodamientos de bolas de contacto angular, series 32 y 33 con un ángulo de contacto $\alpha = 35^\circ$

$$P = F_r + 0,66 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,95$$

$$P = 0,6 \cdot F_r + 1,07 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > 0,95$$

Rodamientos de bolas de contacto angular, serie 33DA con ángulo de contacto $\alpha = 45^\circ$

$$P = F_r + 0,47 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,33$$

$$P = 0,54 \cdot F_r + 0,81 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > 1,33$$

Carga estática equivalente

El factor radial equivale a 1; los factores axiales dependen del ángulo de contacto.

Rodamientos de bolas de contacto angular, series 32B y 33B con un ángulo de contacto $\alpha = 25^\circ$

$$P_0 = F_r + 0,76 \cdot F_a \quad [\text{kN}]$$

Rodamientos de bolas de contacto angular, series 32 y 33 con un ángulo de contacto $\alpha = 35^\circ$

$$P_0 = F_r + 0,58 \cdot F_a \quad [\text{kN}]$$

Rodamientos de bolas de contacto angular, serie 33DA con un ángulo de contacto $\alpha = 45^\circ$

$$P_0 = F_r + 0,44 \cdot F_a \quad [\text{kN}]$$

Medidas auxiliares

En la página 123 se encuentra información general sobre las medidas auxiliares de estos rodamientos.

En las tablas se indican los valores máximos del radio r_g de la garganta y los diámetros de los resaltes.

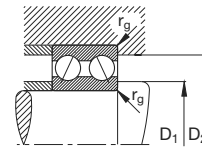
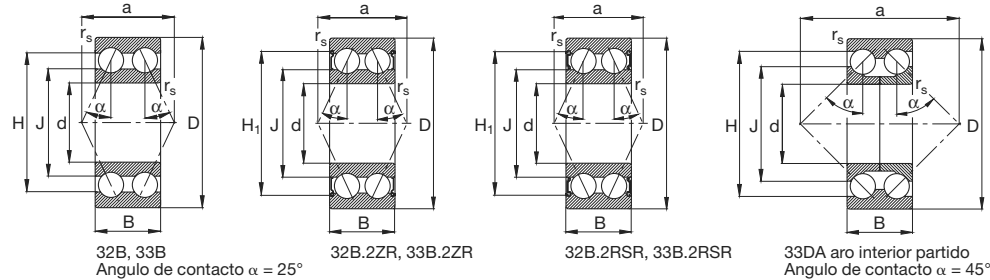
Sufijos

B	Construcción interna modificada.
DA	Aro interior partido
M	Jaula maciza de latón guiada por las bolas
MA	Jaula maciza de latón guiada por el aro exterior
.2RSR	Dos tapas de obturación
TVH	Jaula de garras maciza de poliamida reforzada con fibra de vidrio, guiada por las bolas
TVP	Jaula de ventanas maciza de poliamida reforzada con fibra de vidrio, guiada por las bolas.
.2ZR	Dos tapas de protección

Rodamientos FAG de bolas de contacto angular

de doble hilera

Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P_0 \geq 8$, ver Pág.41.



Eje	Dimensiones								Peso ≈ kg	Capacidad de carga		Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares		
	d	D	B	r _s min	a ≈	H ≈	H ₁ ≈	J ≈		dyn. C	stat. C ₀				Rodamiento	D ₁ min mm	D ₂ max
	mm									kN		min ⁻¹		FAG			
10	10	30	14	0,6	15	23,9	26	17,9	0,05	7,8	4,55	22000	24000	3200B.TVH	14,2	25,8	0,6
	10	30	14	0,6	15	23,9	26	17,9	0,052	7,8	4,55	16000	24000	3200B.2ZR.TVH	14,2	25,8	0,6
12	12	32	15,9	0,6	17	25,7	28,1	18,3	0,051	10,6	5,85	20000	24000	3201B.TVH	16,2	27,8	0,6
	12	32	15,9	0,6	17	25,7	28,1	18,3	0,053	10,6	5,85	15000	24000	3201B.2ZR.TVH	16,2	27,8	0,6
15	15	35	15,9	0,6	18	28,8	31,6	21,1	0,065	11,8	7,1	19000	20000	3202B.TVH	19,2	30,8	0,6
	15	35	15,9	0,6	18	28,8	31,6	21,1	0,067	11,8	7,1	14000	20000	3202B.2ZR.TVH	19,2	30,8	0,6
	15	35	15,9	0,6	18	28,8	31,6	21,1	0,067	11,8	7,1	12000		3202B.2RSR.TVH	19,2	30,8	0,6
	15	42	19	1	21	34,5	36,6	25,6	0,124	16,3	10	16000	14000	3302B.TVH	20,6	36,4	1
17	17	40	17,5	0,6	20	33,1	35,1	24	0,093	14,6	9	17000	18000	3203B.TVH	21,2	35,8	0,6
	17	40	17,5	0,6	20	33,1	35,1	24	0,095	14,6	9	12000	18000	3203B.2ZR.TVH	21,2	35,8	0,6
	17	40	17,5	0,6	20	33,1	35,1	24	0,095	14,6	9	10000		3203B.2RSR.TVH	21,2	35,8	0,6
	17	47	22,2	1	24	37,7	40	26,2	0,177	20,8	12,5	15000	13000	3303B.TVH	22,6	41,4	1
20	20	47	20,6	1	24	38,7	41,1	28,9	0,154	19,6	12,5	15000	16000	3204B.TVH	25,6	41,4	1
	20	47	20,6	1	24	38,7	41,1	28,9	0,16	19,6	12,5	10000	16000	3204B.2ZR.TVH	25,6	41,4	1
	20	47	20,6	1	24	38,7	41,1	28,9	0,158	19,6	12,5	8500		3204B.2RSR.TVH	25,6	41,4	1
	20	52	22,2	1,1	26	42,7	45	31,2	0,217	23,2	15	13000	11000	3304B.TVH	27	45	1
	20	52	22,2	1,1	26	42,7	45	31,2	0,222	23,2	15	9000	11000	3304B.2ZR.TVH	27	45	1
	20	52	22,2	1,1	26	42,7	45	31,2	0,221	23,2	15	8000		3304B.2RSR.TVH	27	45	1
25	25	52	20,6	1	26	43,7	46,1	33,9	0,178	21,2	14,6	12000	14000	3205B.TVH	30,6	46,4	1
	25	52	20,6	1	26	43,7	46,1	33,9	0,182	21,2	14,6	8500	14000	3205B.2ZR.TVH	30,6	46,4	1
	25	52	20,6	1	26	43,7	46,1	33,9	0,182	21,2	14,6	7500		3205B.2RSR.TVH	30,6	46,4	1
	25	62	25,4	1,1	31	50	53,1	37,2	0,353	30	20	10000	10000	3305B.TVH	32	55	1
	25	62	25,4	1,1	31	50	53,1	37,2	0,359	30	20	7500	10000	3305B.2ZR.TVH	32	55	1
	25	62	25,4	1,1	31	50	53,1	37,2	0,359	30	20	6700		3305B.2RSR.TVH	32	55	1
	25	62	25,4	1,1	56	51,8		41	0,341	30	23,2	10000	10000	3305DA.TVP	32	55	1
30	30	62	23,8	1	31	52,1	55,7	40	0,289	30	21,2	9500	12000	3206B.TVH	35,6	56,4	1
	30	62	23,8	1	31	52,1	55,7	40	0,295	30	21,2	7000	12000	3206B.2ZR.TVH	35,6	56,4	1
	30	62	23,8	1	31	52,1	55,7	40	0,296	30	21,2	6300		3206B.2RSR.TVH	35,6	56,4	1
	30	72	30,2	1,1	36	58,9	62,5	44	0,548	41,5	28,5	8500	9000	3306B.TVH	37	65	1
	30	72	30,2	1,1	36	58,9	62,5	44	0,558	41,5	28,5	6300	9000	3306B.2ZR.TVH	37	65	1
	30	72	30,2	1,1	36	58,9	62,5	44	0,558	41,5	28,5	5600		3306B.2RSR.TVH	37	65	1
	30	72	30,2	1,1	67	61,5		48,4	0,657	41,5	34,5	8500	9000	3306DA	37	65	1
35	35	72	27	1,1	36	60,6	64,2	47,2	0,445	39	28,5	8500	11000	3207B.TVH	42	65	1
	35	72	27	1,1	36	60,6	64,2	47,2	0,454	39	28,5	6300	11000	3207B.2ZR.TVH	42	65	1
	35	72	27	1,1	36	60,6	64,2	47,2	0,454	39	28,5	5300		3207B.2RSR.TVH	42	65	1

5.1

VIDA ÚTIL TEÓRICA REQUERIDA

RATING LIFE REQUESTED

En los casos que resulte necesario definir que tipo de rodamiento adoptar en las diversas aplicaciones, será importante evaluar cual es la vida útil prevista para el equipo y si el mismo se utilizará en modo continuo o discontinuo. Si no se cuenta con una experiencia previa al respecto es posible tomar como referencia la siguiente tabla:

Horas de funcionamiento	Tipo de equipo
• de 4.000 a 8.000	- aparatos para trabajos domésticos, máquinas agrícolas (máquinas con funcionamiento intermitente para las cuales eventuales interrupciones tienen poca importancia).
• de 8.000 a 12.000	- máquinas herramienta empleadas en modo discontinuo, motores para electrodomésticos, aparatos de manipulación (máquinas con funcionamiento breve para las cuales eventuales interrupciones pueden tener importancia).
• de 12.000 a 24.000	- máquinas utilizadas las 24 horas, pero no en modo continuo (motores eléctricos, engranajes).
• de 24.000 a 30.000	- máquinas utilizadas las 24 horas, en modo continuo, máquinas herramientas y otras máquinas para la industria.
• de 30.000 a 1000.000	- máquinas funcionantes las 24 horas del día y que además requieren la máxima fiabilidad, bombas, compresores, impresoras, generadores de energía, provisión de agua.

Sometimes it is necessary to make a choice about type of bearing to use in different applications, in this case it is important to estimate how long the machinery will be used for and if its work is continuous or intermittent. When a lack of experience is present, the following table can be used:

Operating hours	Kind of instrument
• from 4.000 to 8.000	- domestic apparatus, agricultural machinery (devices with an intermittent work where possible breaking off are not important)
• from 8.000 to 12.000	- machinery tools jerkily used, electrical households, handling apparatus (devices with a short working time where possible breaking off can be important)
• from 12.000 to 24.000	- machinery used all day long even if not continually (i.g. electric motors, gears)
• from 24.000 to 30.000	- all day working machinery in a continuous way, different apparatus for industries and machinery tools
• from 30.000 to 1000.000	- 24 hours a day operating and over machinery requiring maximum reliability such as pumps, compressors, printing machinery, water main suppliers, energy generators.

5.2

VIDA ÚTIL DE SERVICIO

OPERATING LIFE

Se denomina vida útil de servicio el límite máximo de durabilidad que el rodamiento alcanza en la aplicación.

Es obvio que calcular la vida útil de servicio puede resultar bastante complicado, ya que las variables que pueden influir sobre la misma son múltiples, como por ejemplo los desfases entre el eje y el alojamiento, la lubricación, la temperatura de servicio. Es aconsejable siempre tener en cuenta eventuales experiencias de utilización previas.

With operating life, we mean the operating limit that a bearing achieves during its application. To calculate the duration can be very difficult as many different factors can influence the life, for example misalignment between shaft and housing, lubrication, operating temperature.

To have more information, where possible, we recommend to see previous applications.

5.3

CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE P_0

EQUIVALENT STATIC LOAD P_0

La carga estática equivalente P_0 , está limitada por el coeficiente de seguridad estático S_0 , y se deberá considerar como carga radial para rodamientos rígidos con carga axial y centrada para rodamientos axiales, por lo tanto:

• Rodamientos de agujas de tipo radial

$$P_0 = F_r$$

donde P_0 = carga estática equivalente (en kg.)

F_r = carga radial efectiva (en kg.)

• Rodamientos de agujas de tipo axial

$$P_0 = F_a$$

donde F_a = carga axial efectiva (en kg.)

Equivalent static load P_0 is limited by static safety coefficient S_0 , P_0 means radial load for radial bearings and axial centred load for axial bearings, therefore:

• Radial needle roller bearings

$$P_0 = F_r$$

where P_0 = equivalent static load (expressed in kilos)

F_r = real radial load (expressed in kilos)

• Axial needle roller bearings

$$P_0 = F_a$$

where F_a = real axial load (expressed in kilos)

5.4 CARGA DINÁMICA EQUIVALENTE P

EQUIVALENT DYNAMIC LOAD P

La carga dinámica equivalente P en un rodamiento rígido se determina generalmente a partir de las características de la máquina y/o del equipo en el cual se utilizará. Resulta muchas veces determinante tener en cuenta las cargas accidentales que pueden surgir a causa de la utilización de la máquina misma, como por ejemplo vibraciones, impactos y sobrecargas en los componentes. Por lo tanto calcular la carga efectiva puede resultar complicado, ya que sería necesario considerar muchos factores. La mejor guía la constituye siempre la experiencia adquirida en montajes previamente realizados. Además es necesario hacer una distinción entre rodamientos de tipo axial y de tipo radial o rígidos, en los cuales, para calcular la carga dinámica equivalente podemos utilizar las siguientes fórmulas:

• Rodamientos de agujas de tipo radial (considerando F_r constante)

$P = F_r$
donde P = carga dinámica equivalente (en kg.)
 F_r = carga radial efectiva (en kg.)

• Rodamientos de agujas de tipo axial (considerando la carga centrada)

$P = F_a$
donde F_a = carga axial efectiva (en kg.)

The equivalent dynamic load P on a radial or thrust bearing, is usually determined by starting from characteristics of the machinery and/or of the special equipment on which it is assembled. It is often important to keep present accidental loads that a machinery is able to produce during its work, such as vibrations, impacts, overloads. It's clear that the calculation of real load can be very hard and at the light of this we recommend once again, where possible, to see previous applications. A further distinction between axial and radial bearings, has to be made: the following formula can be used to determinate equivalent dynamic load:

• Radial needle roller bearings (where F_r is constant)

$P = F_r$
where P = equivalent dynamic load (expressed in kilos)
 F_r = real radial load (expressed in kilos)

• Axial needle roller bearings (load is centred)

$P = F_a$
where F_a = real axial load (expressed in kilos)

5.5 COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTÁTICO S_0

STATIC LOAD SAFETY FACTOR S_0

La capacidad de carga estática no es otra cosa que la capacidad de un rodamiento de soportar cargas aplicadas en ausencia de movimiento o bien en presencia de oscilaciones muy lentas. Dichas cargas pueden de todos modos crear deformaciones, a veces permanentes, si bien en algunos casos las mismas pueden ser consideradas aceptables. De aquí surge el concepto de coeficiente de seguridad estático, que indica el grado de seguridad del rodamiento contra eventuales deformaciones. El coeficiente de seguridad estático, puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

considerando que:

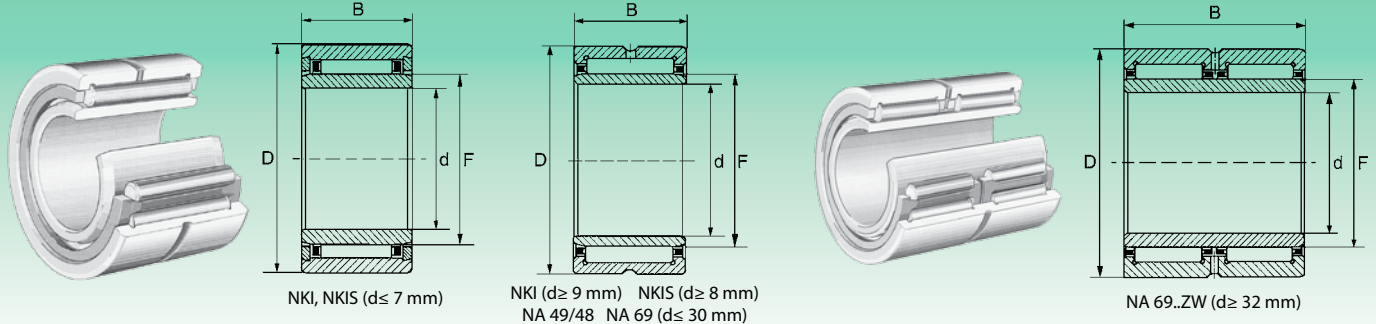
S_0 - factor de seguridad estático
 C_0 - coeficiente de carga estática (en kg)
 P_0 - carga admisible (en kg)

The static load ability of a bearing is its ability to stand loads when there is no movement at all or when the oscillations are very slow. Even in these cases loads can produce deformations, sometimes permanent, even if rather acceptable in some applications. Here comes the static coefficient of safety, able to indicate the safety degrees of a bearing against deformations. Static load safety factor, can be calculated by using the following formula:

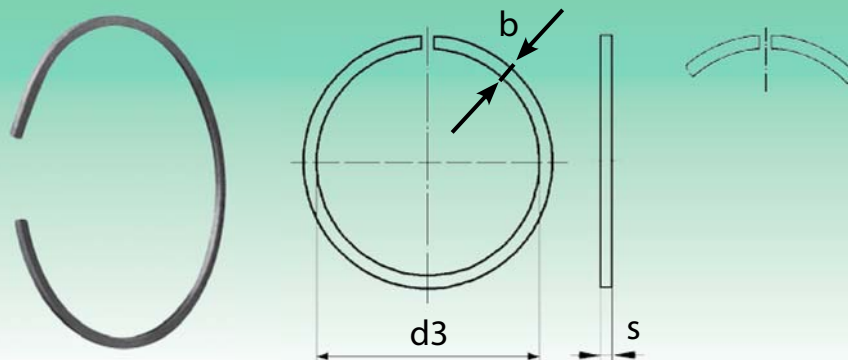
where:

S_0 - static factor of safety
 C_0 - static load rating, in kilos
 P_0 - possible load, in kilos

Valores indicativos del coeficiente de seguridad estático S_0 <i>S_0 static safety load rating coefficient</i>	Rodamiento de rodillos y agujas <i>Tapered and needle bearings</i>	Rodamientos de bolas <i>Roller bearings</i>
Condiciones operativas - <i>Working conditions</i>		
Elevada precisión de rotación, con cargas e impactos <i>High rotation precision, with heavy loads and impacts</i>	3	2
Precisión normal de rotación, con mayores exigencias de silenciosidad <i>Normal rotation precision, with greater need of noiselessness</i>	1,5	1
Precisión de rotación limitada, bajas cargas, mínimas exigencias de silenciosidad <i>Low rotation precision, low loads and minimal need of noiselessness</i>	1	0,5

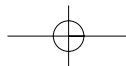


Diámetro eje (mm) Shaft diameter (mm)	Sigla Designation				Peso (g) Weight (g)	Dimensiones (mm) Dimensions (mm)				Coeficientes de carga (N) Basic load ratings (N)		Velocidad límite Limiting Speed
	NKI	NKIS	NA 49/48	NA 69		d	F	D	B	Dinámico C Dynamic C	Estático C ₀ Static C ₀	
5	* NKI 5/12 TN *	-	-	-	11.5	5	8	15	12	3 750	3 900	30 400
	NKI 5/16 TN	-	-	-	15.3	5	8	15	16	4 900	5 700	30 400
6	* NKI 6/12 TN *	-	-	-	13.5	6	9	16	12	4 270	4 750	28 500
	* NKI 6/16 TN	-	-	-	17.4	6	9	16	16	5 600	6 750	28 500
	-	^Δ NKIS 6 TN	-	-	19.9	6	10	19	13	5 510	5 700	26 000
7	* NKI 7/12 TN *	-	-	-	13.7	7	10	17	12	4 500	5 200	27 500
	* NKI 7/16 TN	-	-	-	18.2	7	10	17	16	5 900	7 400	27 500
	-	^Δ NKIS 7 TN	-	-	34.6	7	12	22	16	9 100	9 800	24 000
8	-	NKIS 8	-	-	46	8	14	25	16	13 680	13 110	21 500
9	NKI 9/12	-	-	-	14.6	9	12	19	12	6 200	7 002	25 000
	NKI 9/16	-	-	-	21.9	9	12	19	16	8 500	10 500	25 000
	-	^Δ NKIS 9	-	-	41.4	9	15	26	16	13 800	13 500	22 000
10	NKI 10/16	-	-	-	27.3	10	14	22	16	9 808	10 500	23 500
	NKI 10/20	-	-	-	37.1	10	14	22	20	12 150	14 800	23 500
	-	^Δ NKIS 10	-	-	54	10	16	28	16	15 000	15 100	21 000
	-	-	NA 4900	-	21	10	14	22	13	8 006	9 000	23 700
	-	-	-	NA 6900	38.4	10	14	22	22	8 281	11 612	23 700
12	NKI 12/16	-	-	-	33.3	12	16	24	16	10 800	13 100	22 800
	NKI 12/20	-	-	-	39	12	16	24	20	14 000	18 400	22 800
	-	-	NA 4901	-	25.1	12	16	24	13	8 900	10 300	22 800
	-	-	-	NA 6901	44.5	12	16	24	22	15 200	20 500	22 800
	-	NKIS 12	-	-	58	12	18	30	16	16 000	17 000	20 000
15	NKI 15/16	-	-	-	38	15	19	27	16	12 350	16 530	20 900
	NKI 15/20	-	-	-	45.7	15	19	27	20	15 650	22 400	20 900
	-	-	NA 4902	-	32	15	20	28	13	10 050	12 900	20 900
	-	-	-	NA 6902	61.6	15	20	28	23	16 400	24 200	20 900
	-	NKIS 15	-	-	90	15	22	35	20	23 500	26 600	19 000
17	NKI 17/16	-	-	-	41.4	17	21	29	16	13 000	18 200	20 000
	NKI 17/20	-	-	-	53.4	17	21	29	20	16 500	24 900	20 000
	-	-	NA 4903	-	32.8	17	22	30	13	10 450	13 850	19 900
	-	-	-	NA 6903	68.2	17	22	30	23	17 650	27 550	19 900
	-	NKIS 17	-	-	98	17	24	37	20	25 000	30 000	17 000
20	NKI 20/16	-	-	-	48.5	20	24	32	16	14 250	21 150	18 050
	NKI 20/20	-	-	-	61	20	24	32	20	18 000	29 500	18 050
	-	-	NA 4904	-	70.2	20	25	37	17	19 950	24 200	16 200
	-	-	-	NA 6904	141	20	25	37	30	33 000	51 000	16 000
	-	NKIS 20	-	-	119	20	28	42	20	26 500	35 500	14 000
22	NKI 22/16	-	-	-	50	22	26	34	16	14 500	22 400	17 000
	NKI 22/20	-	-	-	65.4	22	26	34	20	18 700	31 000	17 000
	-	-	NA 49/22	-	76	22	28	39	17	21 650	28 000	15 200
	-	-	-	NA 69/22	130	22	28	39	30	35 600	52 250	15 200
25	NKI 25/20	-	-	-	79.4	25	29	38	20	21 000	33 000	15 200
	NKI 25/30	-	-	-	115	25	29	38	30	31 500	56 000	14 000
	-	-	NA 4905	-	76	25	30	42	17	22 400	29 900	14 250
	-	-	-	NA 6905	160	25	30	42	30	37 000	56 000	14 250
	-	NKIS 25	-	-	160	25	32	47	22	32 000	41 300	12 500



Sigla Designation	Peso por 1.000 unid. (kg.) Weight for 1.000 pcs (kg.)	Dimensiones (mm) Dimensions (mm)				
		Orificio Hole d_1	Aro Ring d_3 máx.	Ancho Width b -0,1	Espesor Thickness s -0,1	Garganta Groove d_2 h 11
AE 4	0.02	4	3.7	0.80	0.5	3.8
AE 5	0.05	5	4.7	1.00	0.5	4.8
AE 6	0.09	6	5.6	1.10	0.7	5.7
AE 7	0.12	7	6.5	1.20	0.7	6.7
AE 8	0.20	8	7.4	1.30	1	7.6
AE 9	0.24	9	8.4	1.30	1	8.6
AE 10	0.25	10	9.4	1.30	1	9.6
AE 11	0.29	11	10.2	1.30	1	10.5
AE 12	0.30	12	11.2	1.30	1	11.5
AE 14	0.50	14	13.1	1.50	1.2	13.5
AE 15	0.66	15	14	1.75	1.2	14.4
AE 16	0.69	16	15	1.75	1.2	15.4
AE 17	0.72	17	16	1.75	1.2	16.4
AE 18	0.75	18	17	1.75	1.2	17.4
AE 19	0.80	19	17.9	1.75	1.2	18.4
AE 20	0.84	20	18.7	1.75	1.2	19.2
AE 21	0.87	21	19.7	1.75	1.2	20.2
AE 22	0.91	22	20.7	1.75	1.2	21.2
AE 24	0.99	24	22.5	1.75	1.2	23
AE 25	1.00	25	23.5	1.75	1.2	24
AE 26	1.10	26	24.5	1.75	1.2	25
AE 28	2.11	28	26.5	2.30	1.5	27
AE 29	2.20	29	27.5	2.30	1.5	28
AE 30	2.33	30	28.5	2.30	1.5	29
AE 32	2.41	32	30.2	2.30	1.5	30.8
AE 35	2.51	35	33.2	2.30	1.5	33.8
AE 37	2.72	37	35.2	2.30	1.5	35.8
AE 38	2.83	38	36.2	2.30	1.5	36.8
AE 40	2.91	40	37.8	2.30	1.5	38.5

Sigla Designation	Peso por 1.000 unid. (kg.) Weight for 1.000 pcs (kg.)	Dimensiones (mm) Dimensions (mm)				
		Orificio Hole d_1	Aro Ring d_3 máx.	Ancho Width b -0,1	Espesor Thickness s -0,1	Garganta Groove d_2 h 11
AE 90	16.00	90	87	3.40	2.5	88
AE 95	18.20	95	92	3.40	2.5	93
AE 100	18.90	100	97	3.40	2.5	98
AE 105	20.70	105	101.7	3.40	2.5	102.7
AE 110	20.90	110	106.6	3.40	2.5	107.7
AE 115	22.10	115	111.6	3.40	2.5	112.7
AE 120	24.10	120	116.5	3.40	2.5	117.7
AE 125	25.10	125	121.4	3.40	2.5	122.7
AE 130	26.60	130	126.3	3.40	2.5	127.7
AE 135	30.20	135	131	4.00	2.5	132.4
AE 140	31.10	140	135.9	4.00	2.5	137.4
AE 145	32.60	145	140.9	4.00	2.5	142.4
AE 150	32.80	150	145.8	4.00	2.5	147.4
AE 155	34.70	155	150.8	4.00	2.5	152.4
AE 160	36.60	160	155.7	4.00	2.5	157.4
AE 165	37.40	165	160.7	4.00	2.5	162.4
AE 170	38.50	170	165.6	4.00	2.5	167.4
AE 175	39.40	175	170.6	4.00	2.5	172.4
AE 180	61.20	180	175.2	5.00	3	177
AE 185	63.90	185	180.1	5.00	3	182
AE 190	65.90	190	185.1	5.00	3	187
AE 195	67.50	195	190.1	5.00	3	192
AE 200	68.40	200	195	5.00	3	197
AE 210	72.00	210	204.9	5.00	3	207
AE 220	76.30	220	214.8	5.00	3	217
AE 225	78.00	225	219.8	5.00	3	222
AE 230	79.80	230	224.7	5.00	3	227
AE 240	81.70	240	234.6	5.00	3	237
AE 260	179.0	260	252.4	7.50	4	255



HAMLIN

www.hamlin.com

55100 Mini Flange Mount Hall Effect Sensor Features and Benefits



Features

- Magnetically operated position sensor
- Digital, latching or programmable analogue types available
- Medium, high or programmable sensitivities
- 3 wire (voltage output) or 2 wire (current output) versions
- Vibration 50g max. @ 50-2,000Hz
- Shock 150g max. @ 11ms 1/2 Sine
- EMC to DIN 40839 (Consult Hamlin)
- Reverse/Over Voltage Protection
- Built in temperature compensation

Benefits

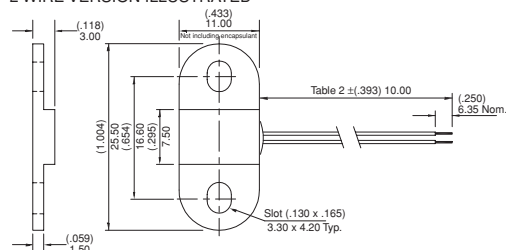
- High switching speed up to 10kHz
- Long life; up to 20 billion operations
- Unaffected by harsh environments
- Operates in static or dynamic magnetic field
- Customer selection of cable length and connector type

Applications

- Position and limit sensing
- RPM measurement
- Flow metering
- Commutation of brushless dc motors
- Angle sensing
- Magnetic encoders

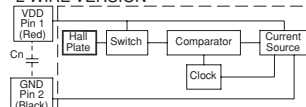
DIMENSIONS (in) mm

2 WIRE VERSION ILLUSTRATED

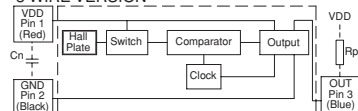


BLOCK DIAGRAMS

2 WIRE VERSION



3 WIRE VERSION



Notes

- 1) Add capacitor Cn as shown, close to the sensor, for transient suppression if required
- 2) Add resistor Rpu as shown for sinking output

CUSTOMER OPTIONS - Switching Specifications

SPECIFICATIONS			Digital Switch or Digital Latch		A - Analogue (Programmable Only) (Note 2)
Hall Type			3 Wire (Voltage output)	2 Wire (Current Output)	
Supply Voltage (Note 1)	Absolute Ratings	Vdc	-15 to +28	-15 to +28	8.5
	Operate	Vdc	+3.8 to +24	+3.75 to +24	4.5-5.5
	Overvoltage Protection	Vdc-max	32	32	19.5
Output High Voltage		Vdc	sinking output	N/A	4.65
Output Low Voltage		Vdc-max	0.4 @ 10mA	N/A	0.35
Output Current (continuously on)		mA-max	10	N/A	-1.0 to +1.0
Current Consumption over Temperature Range	Low	mA	1.6 - 5.2	5-6.9	2 - 10
	High	mA	1.6 - 5.2	12-17	2 - 10
Switching Speed		kHz-max	10	10	2
Temperature	Operating	°C	-40 to +100	-40 to +100	-40 to +100
	Storage	°C	-65 to +105	-65 to +105	-65 to +105

Note 1 - As long as Tj (Junction Temperature) max. is not exceeded

Note 2 - Preprogrammed by Hamlin or Customer pending agreement

CUSTOMER OPTIONS - Sensitivity, Cable Length and Termination Specification

TABLE 1 HALL OPTIONS				TABLE 2		TABLE 3	
ACTIVATE DISTANCES ARE APPROXIMATE USING NeFeB MAGNET (.827L x .276W x .185H) 21 x 7 x 4.7 HAMLIN P/N 5812334000				Cable Length:- (Cable Type 24 AWG 7/32 PVC 105°C UL1430/UL1569)		Termination Options:-	
				Standard Lengths		SELECT OPTION	DESCRIPTION (2 WIRE VERSION ILLUSTRATED)
Select Hall Option	Hall Type	Sensitivity Gauss (Typ.)	Activate - d (in) mm	SELECT OPTION	CABLE LENGTH (in) mm	A	Tinned leads
2M	2 Wire Switch	120	(.531) 13.5	01	(3.94) 100	B	Crimped terminals
2H	2 Wire Switch	57	(.728) 18.5	02	(11.81) 300	C	6.35mm fastons
2L	2 Wire Latch	40	(.827) 21.0	03	(19.69) 500	D	AMP MTE 2.54mm pitch
3M	3 Wire Switch	130	(.492) 12.5	04	(29.53) 750	E	JST XHP 2.5mm pitch
3H	3 Wire Switch	59	(.709) 18.0	05	(39.37) 1000		
3L	3 Wire Latch	86	(.394) 10.0				
AP	Analogue	Programmable	Consult Hamlin				

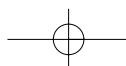
ORDERING INFORMATION

Series	55100	-	XX	-	XX	-	X
Hall option	Table 1						
Cable Length	Table 2						
Termination	Table 3						

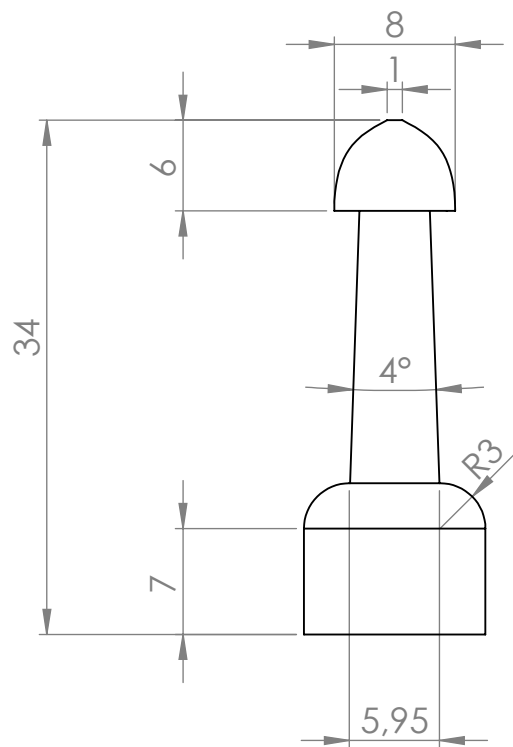
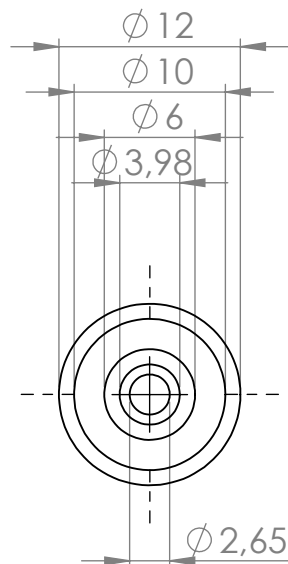
Hamlin USA Tel: +1 920 648 3000 • Fax: +1 920 648 3001 • Email: sales.us@hamlin.com
Hamlin UK Tel: +44 (0) 1379 649700 • Fax: +44 (0) 1379 649702 • Email: sales.uk@hamlin.com
Hamlin Germany Tel: +49 (0) 6181 953660 • Fax: +49 (0) 6181 953666 • Email: sales.de@hamlin.com
Hamectrol France Tel: +33 (0) 1 4687 0202 • Fax: +33 (0) 1 4686 6786 • Email: sales.fr@hamlin.com
 Issue No: 3 Date: 24/03/03 DCR B0063

DETAILS PROVIDED ON THIS DATA SHEET ARE PROVIDED FOR
 INFORMATION PURPOSES ONLY AND SHOULD NOT BE RELIED
 UPON AS BEING ACCURATE FOR ANY PARTICULAR PURPOSE.
 Product performance may be affected by the application to which the
 product is put. Upon request, HAMLIN will assist purchasers by
 providing information specific to any particular application. HAMLIN
 disclaims any and all liability whatsoever for any purchaser's reliance
 upon the information contained on this data sheet without further
 consultation with authorised representatives of HAMLIN.

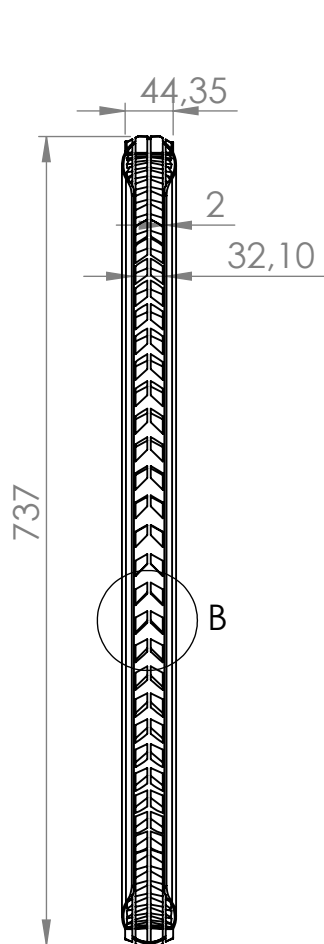
BREED
 ELECTRONICS
 HAMLIN



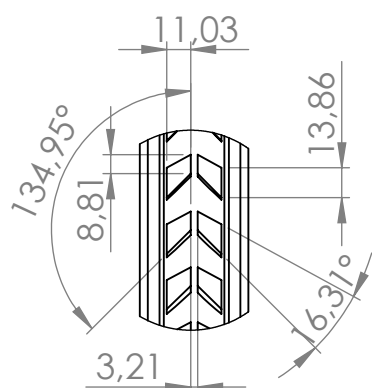
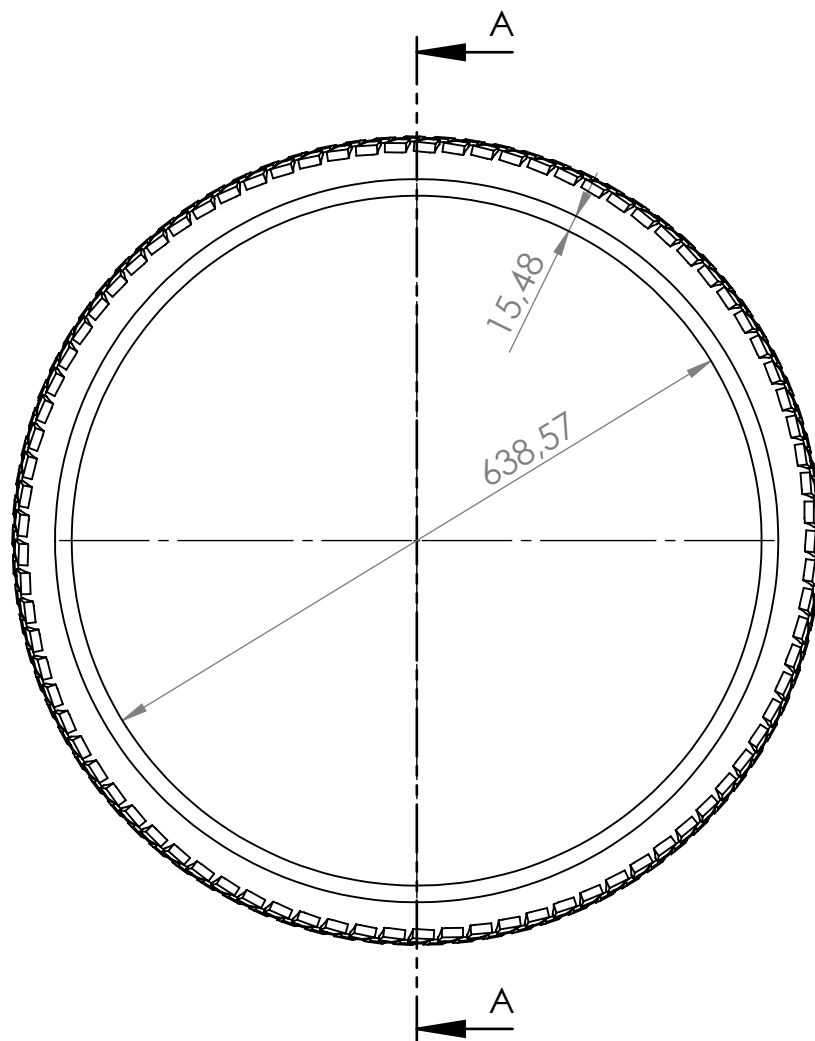
12. Plànols



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	21/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
PE (Alta densitat)			0,0078	Vàlvula aire	A4
				Escala:2:1	Full 1 de 35



SECCIÓ A-A

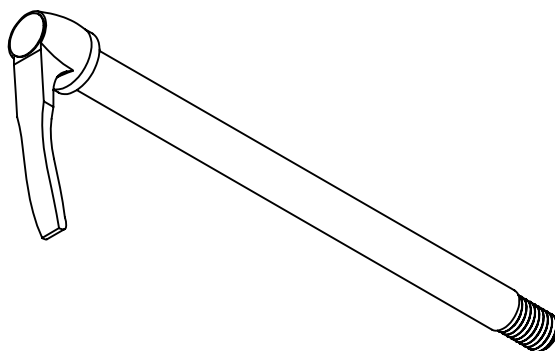
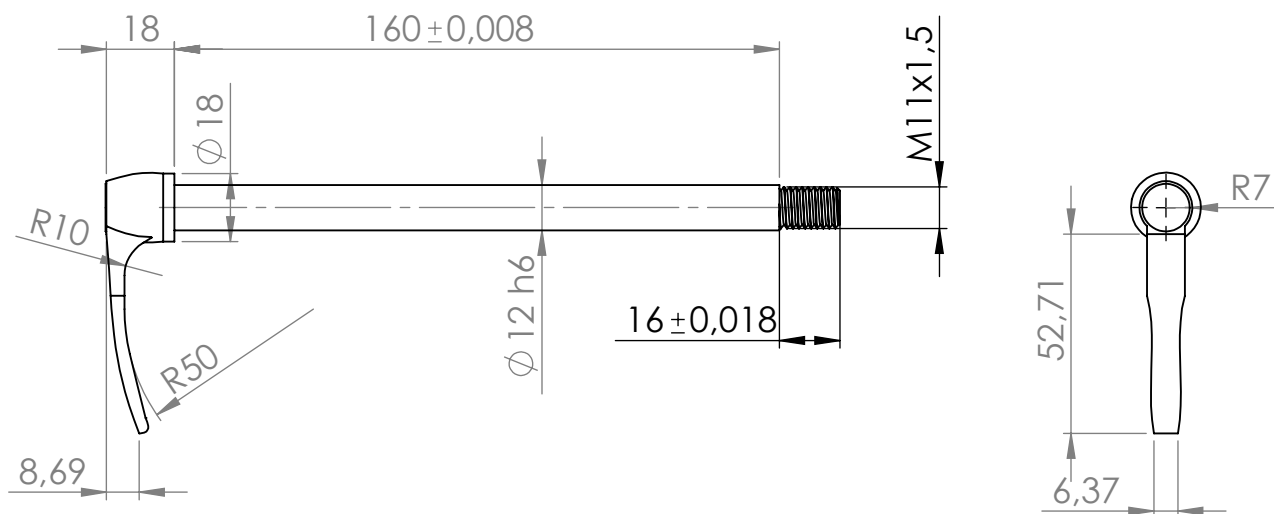


DETALL B
ESCALA 2:7

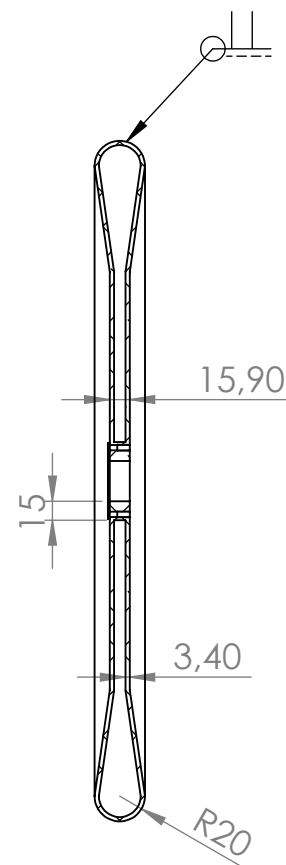
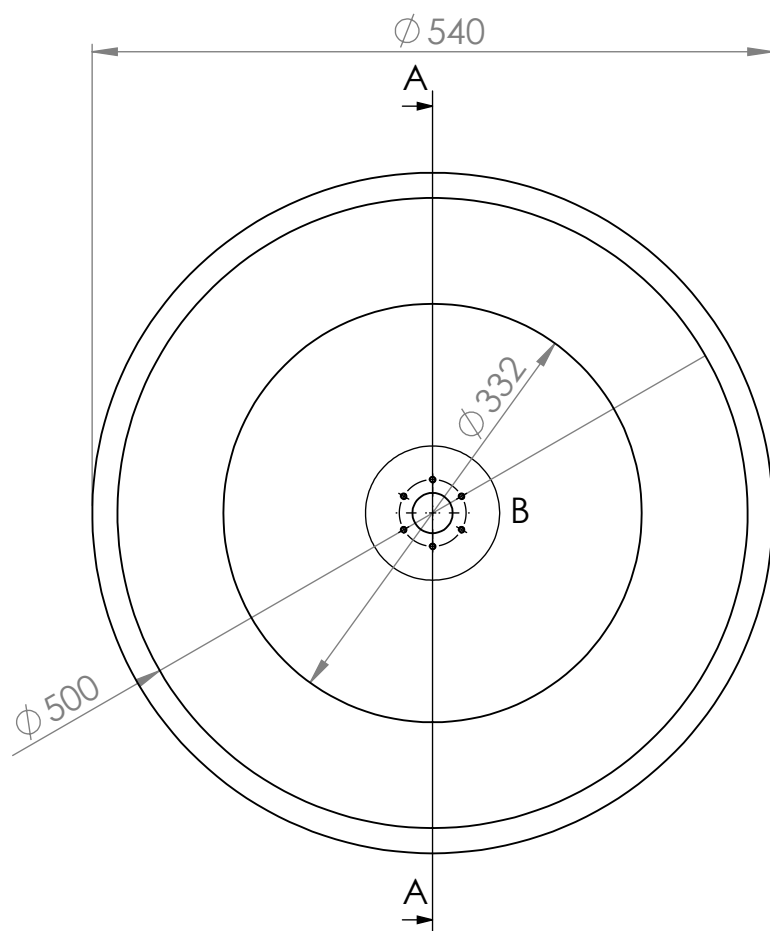


VISTA AUXILIAR
ESCALA 1:10

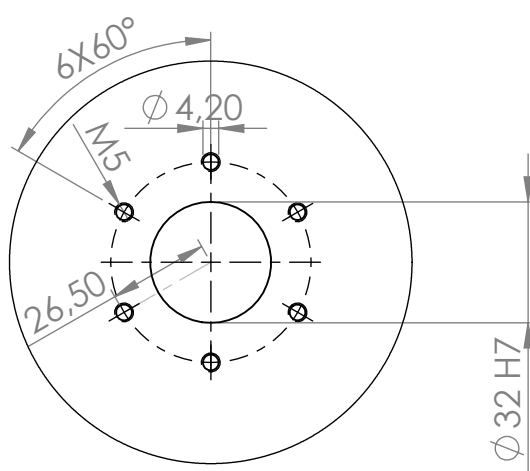
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	21/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
Poliuretà			1,089	Neumàtic	A4
				Escala:1:7	Full 2 de 35



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	22/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
Alumini 6061			0,069	Eix 12x150 mm	A4
				Escala:1:2	Full 3 de 35

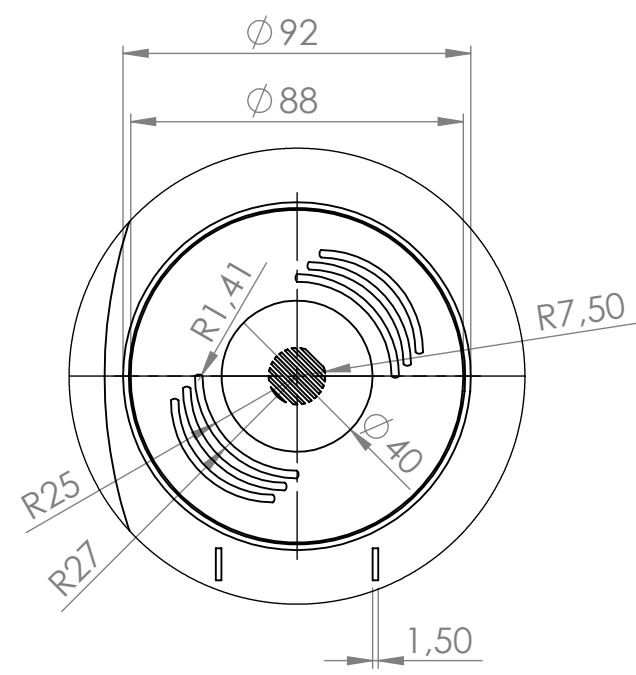
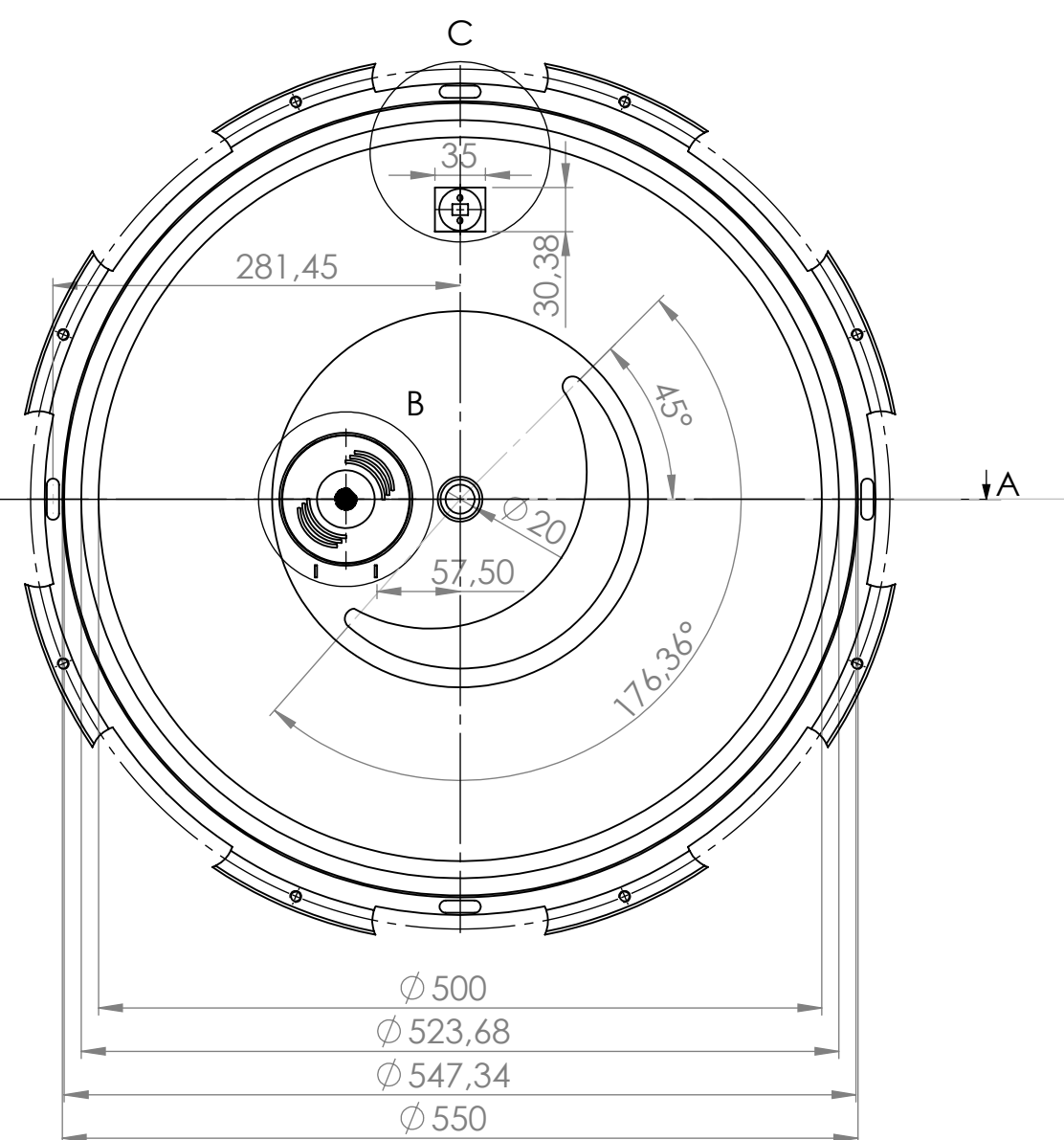
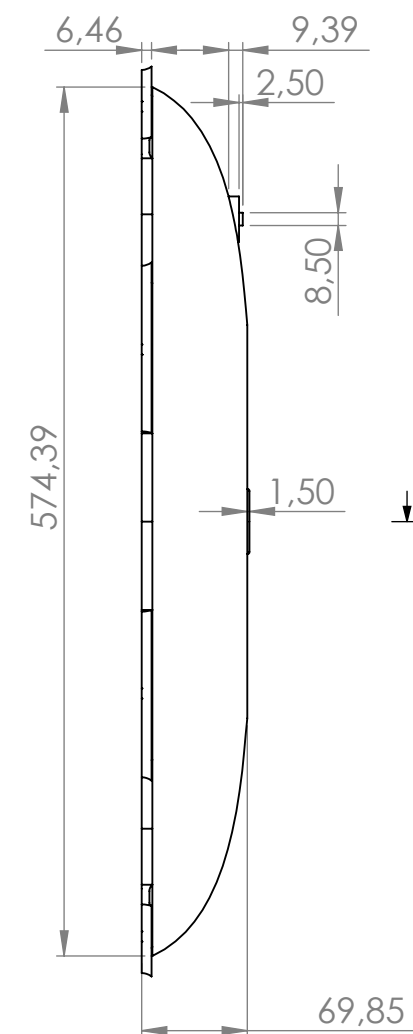
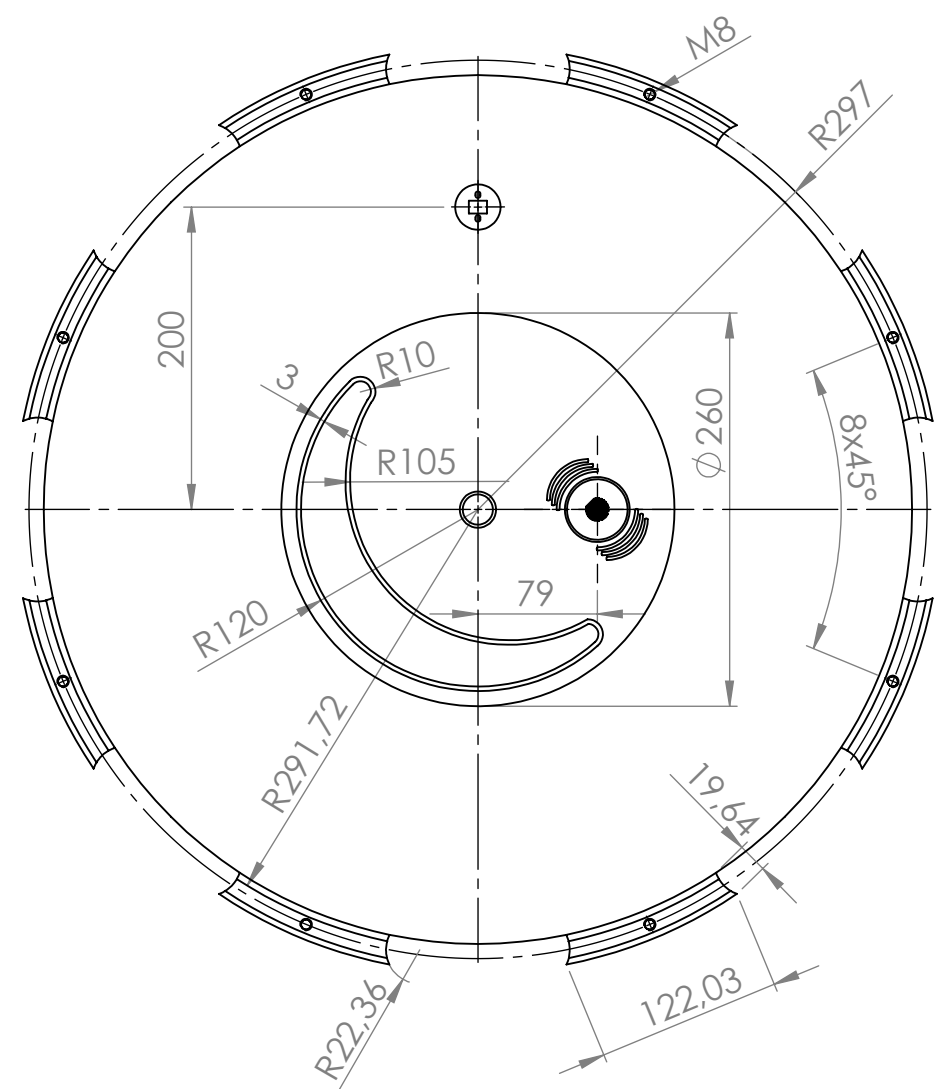


SECCIÓ A-A

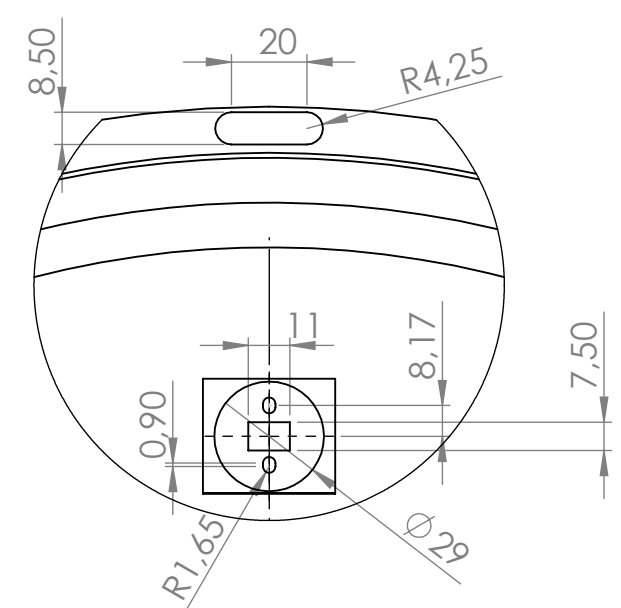


DETALL B
ESCALA 1:2

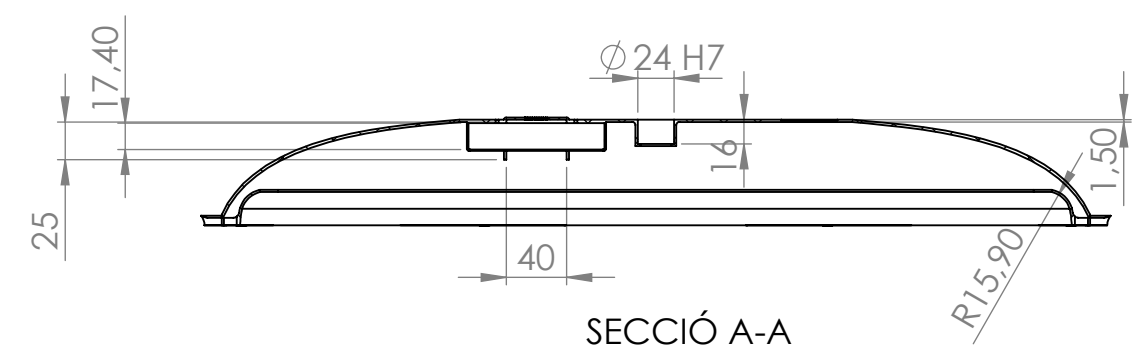
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Alumini 6061		4,54		Disc inèrcia	A4
				Escala:1:6	Full 4 de 35



DETALL B
ESCALA 1:2

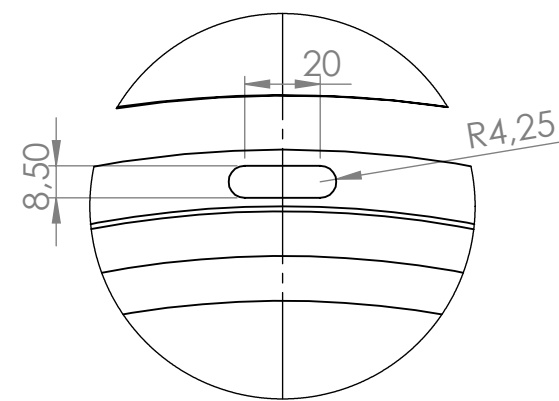
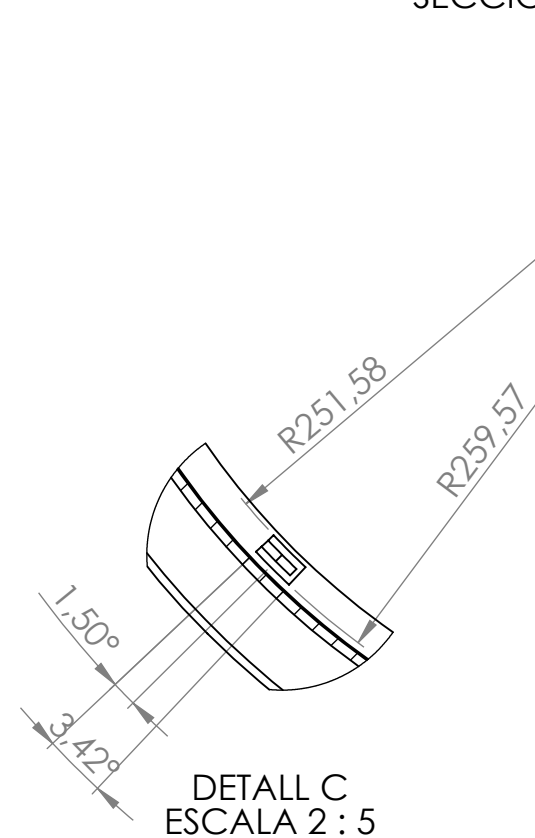
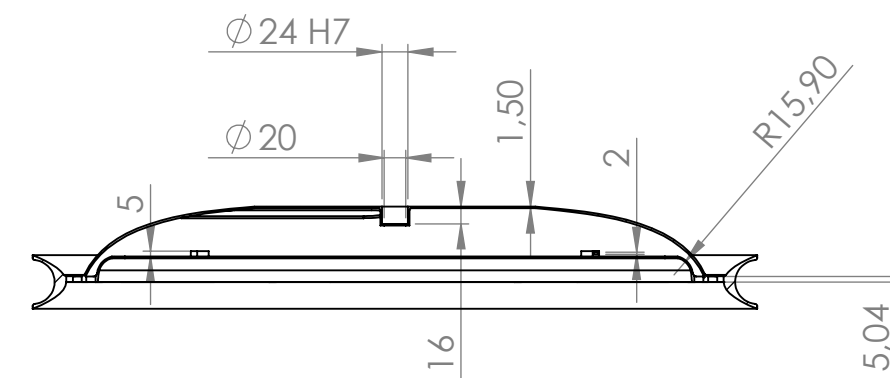
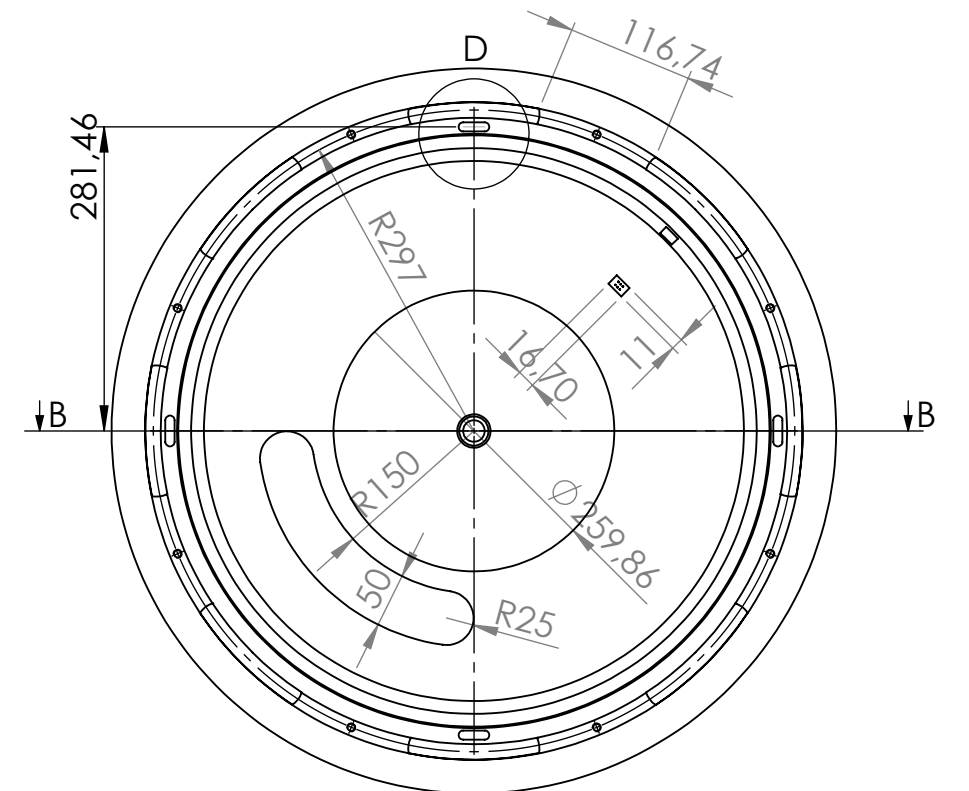
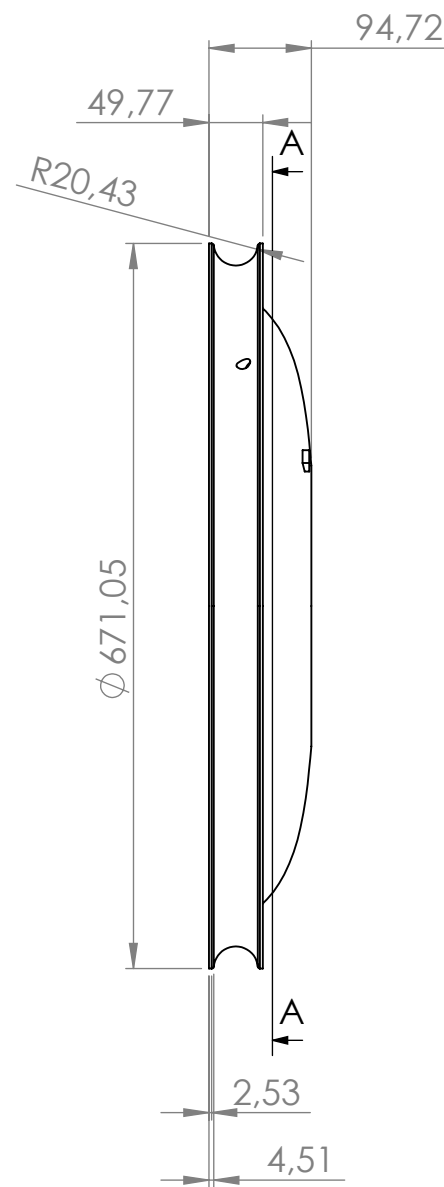
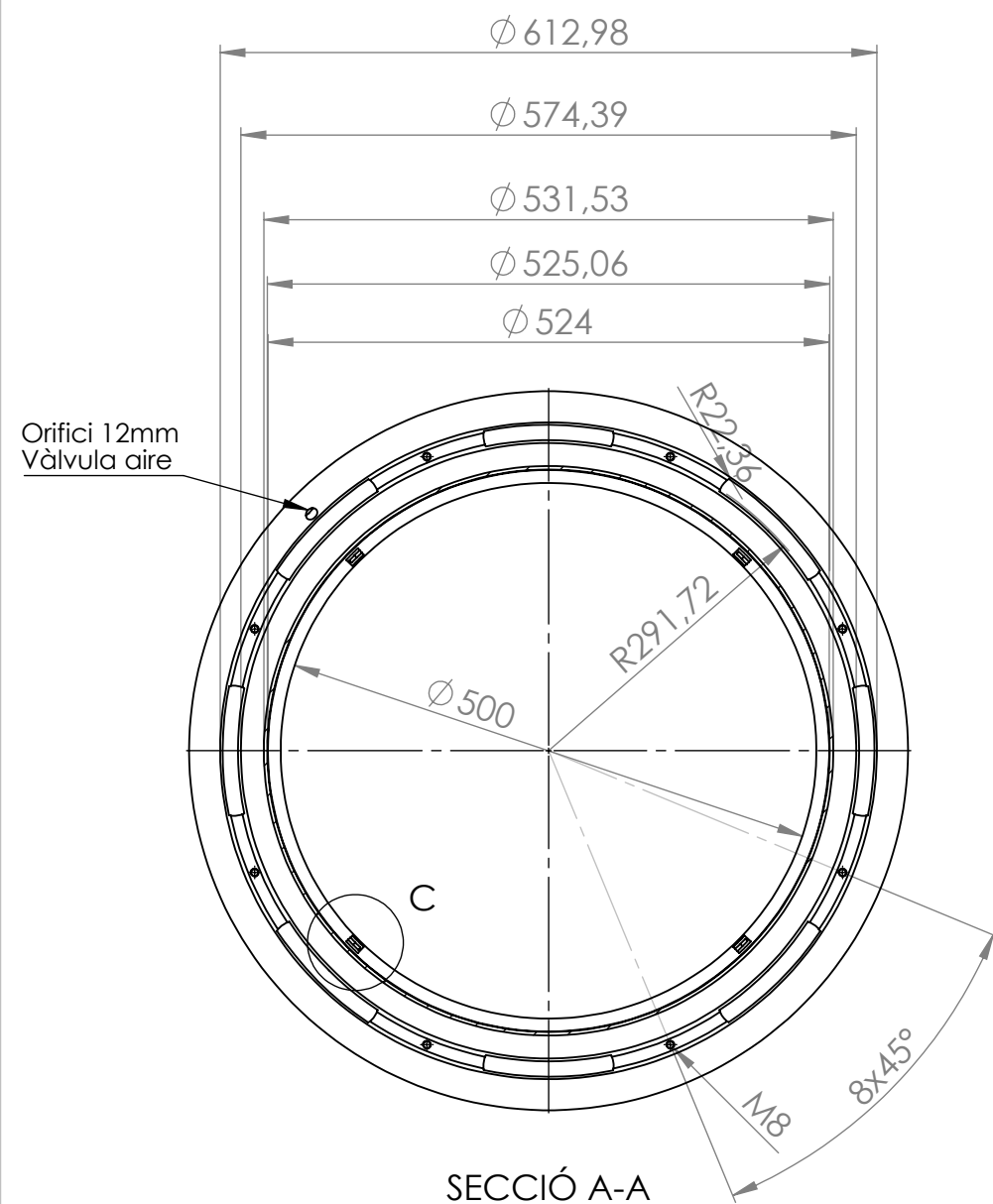


DETALL C
ESCALA 1:2

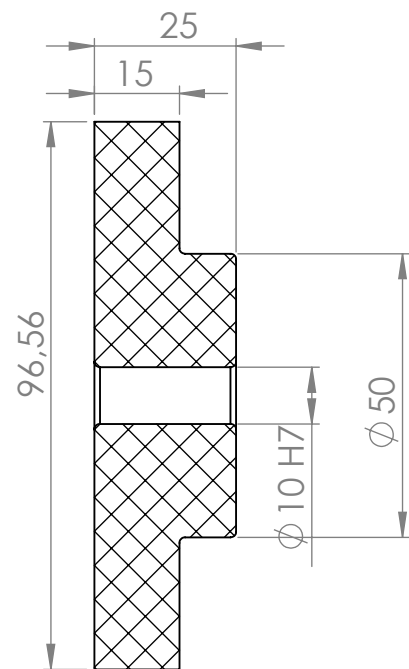
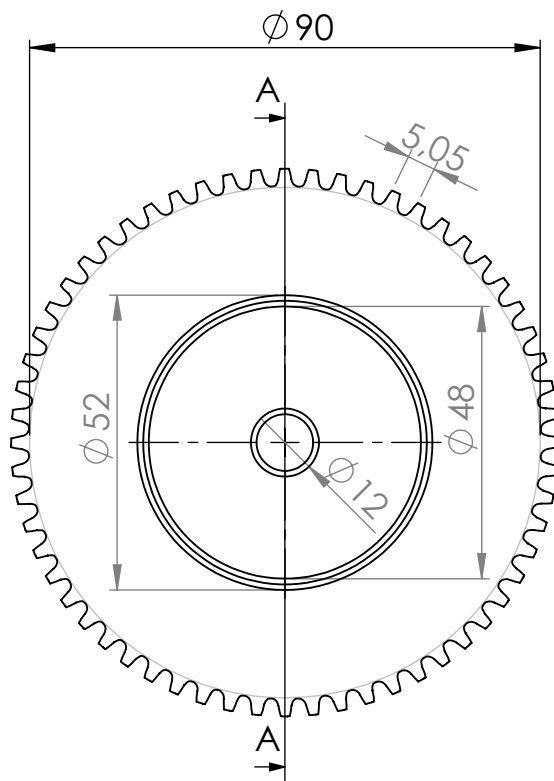


SECCIÓ A-A

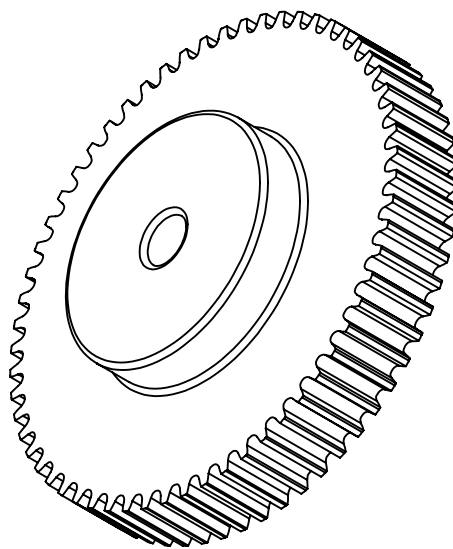
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	Referència Llanta extraïble	
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Escala:1:5	
PE (Alta densitat)		0,763		Full 5 de 35	
				A3	



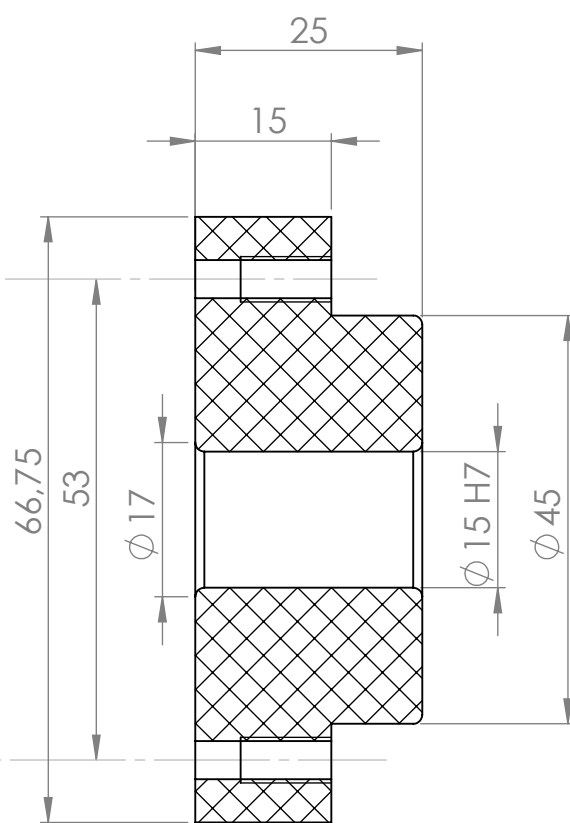
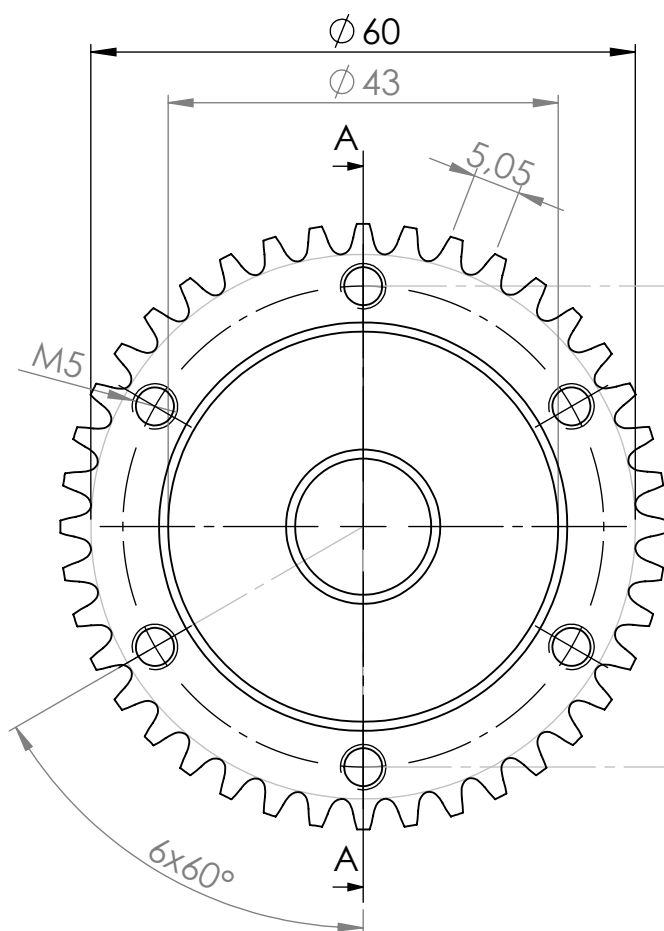
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	DATA	24/06/17		
APROVAT				Referència Llanta fixa Escala:1:7	
MATERIAL:	Fibra de carboni Thornel Mat VMA		MASSA (Kg):		
			3,104	Full 6 de 35	



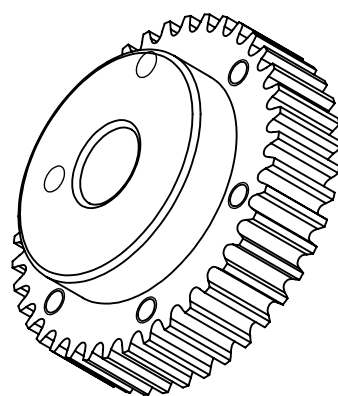
SECCIÓ A-A



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
MC901		0,138		Engranatge 60 dents	A4
				Escala:3:4	Full 7 de 35

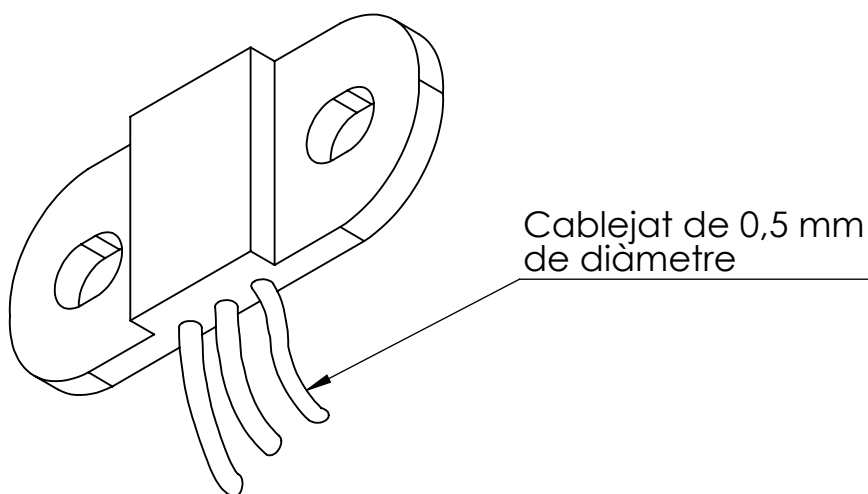
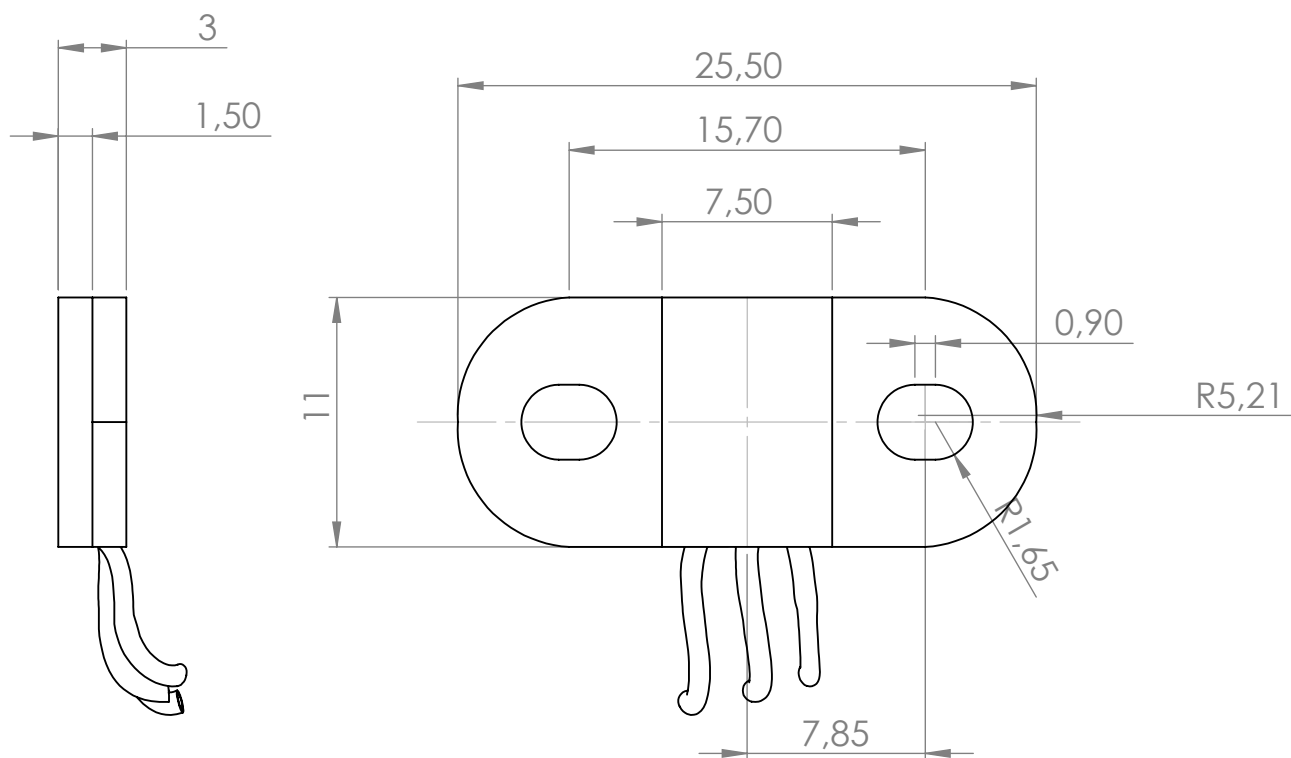


SECCIÓ A-A

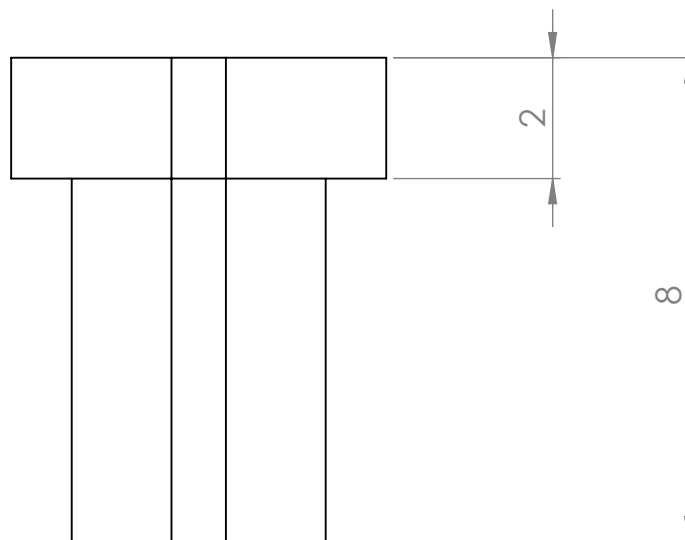
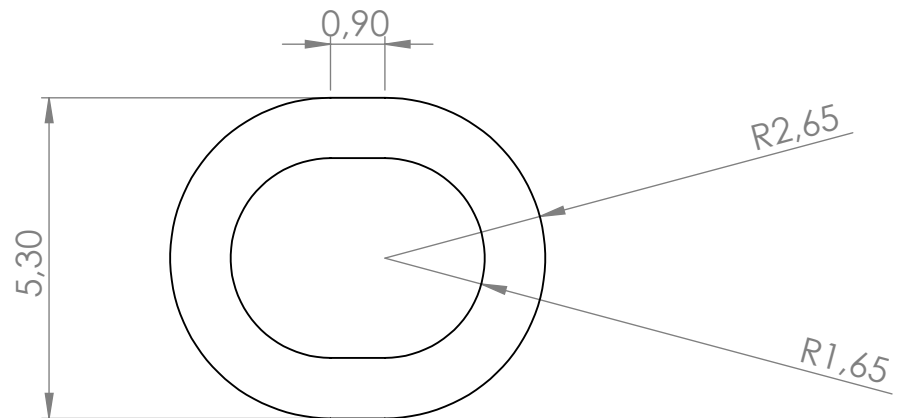


VISTA AUXILIAR
ESCALA 3:4

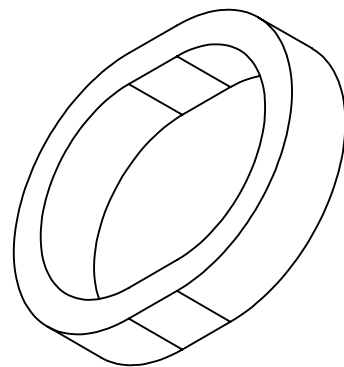
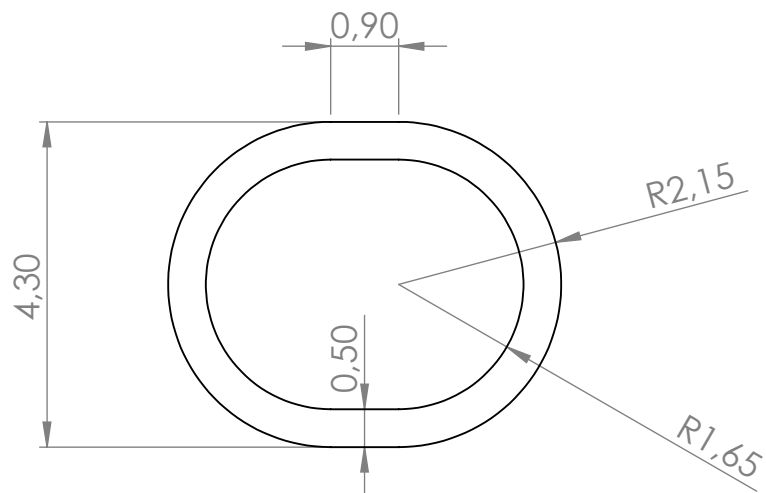
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
MC901		0,066		Engranatge 40 dents	A4
				Escala:6:5	Full 8 de 35



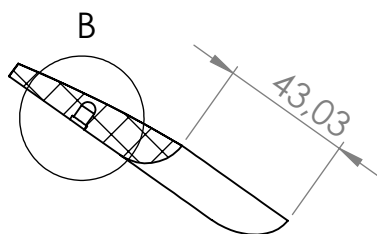
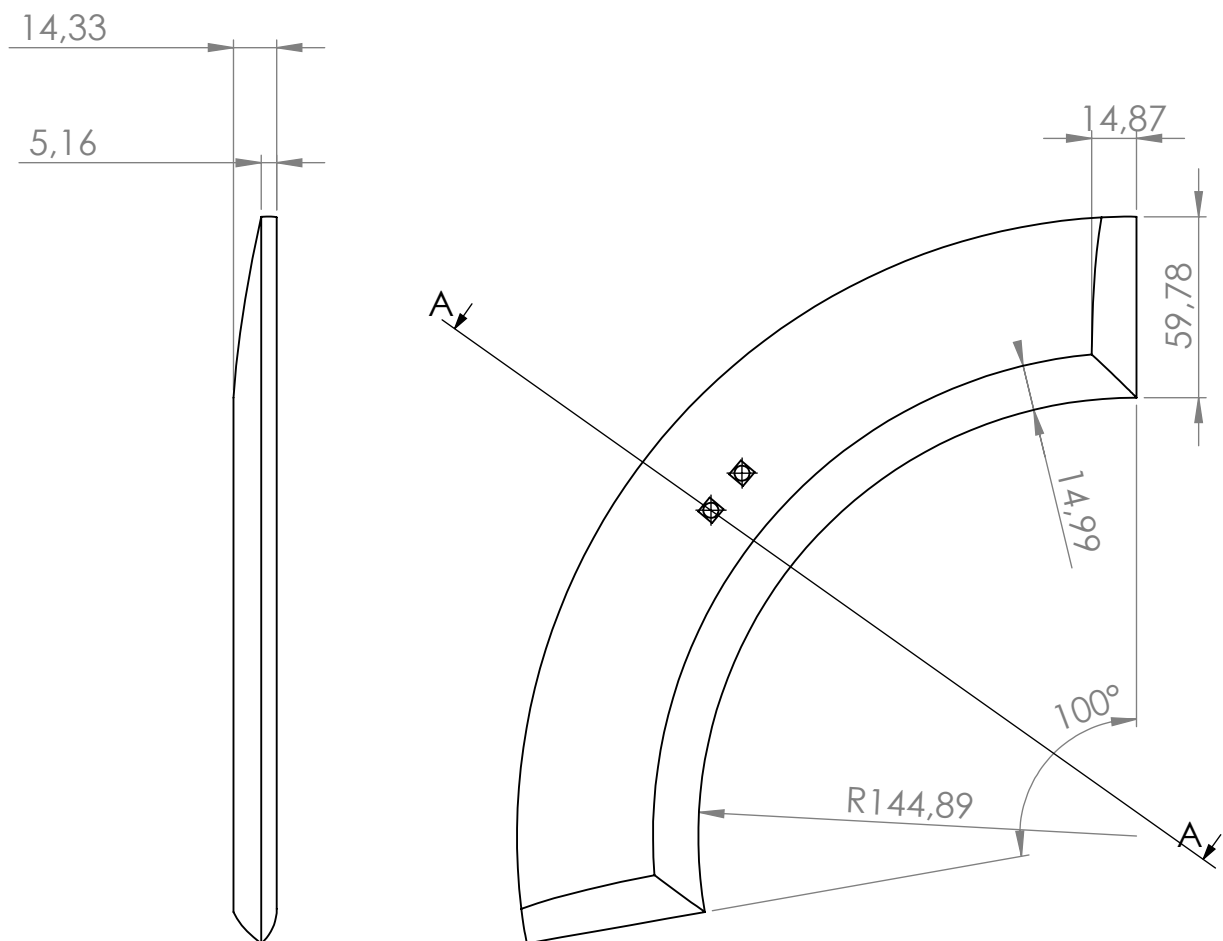
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
PE (Alta densitat)		0,0046		Sensor Hall	A4
				Escala:3:1	Full 9 de 35



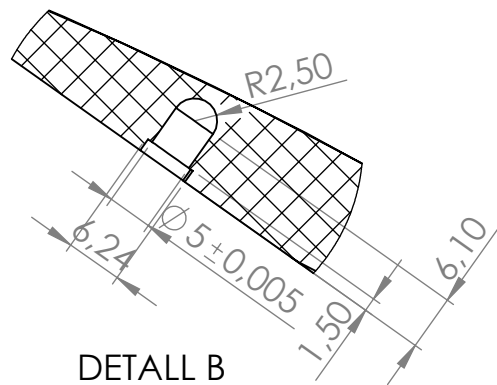
Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL: PE (Alta densitat)			MASSA (Kg): 0,0012	Referència	Passador plàstic
				Escala:8:1	Full 10 de 35
				A4	



Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL: PE (Alta densitat)			MASSA (Kg): 0,0004	Referència	Arandela plàstic
				Escala:8:1	Full 11 de 35
				A4	

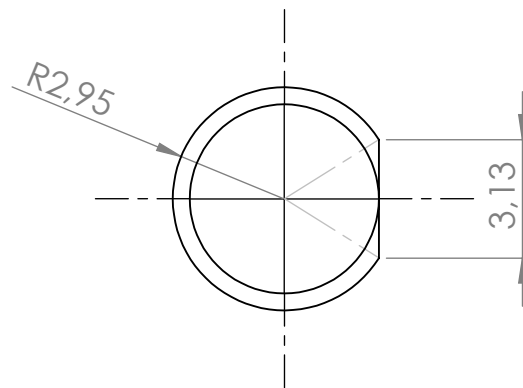
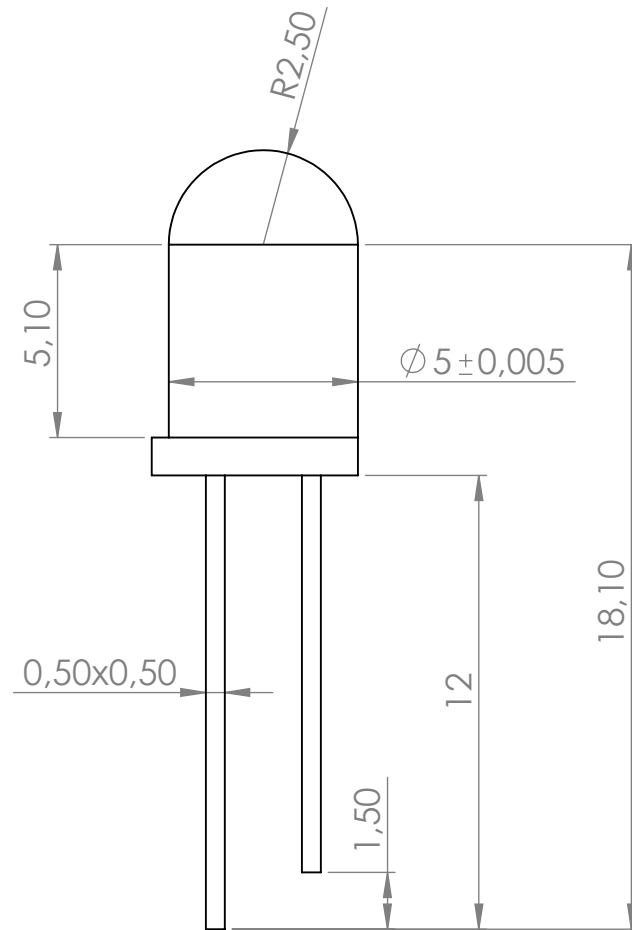


SECCIÓ A-A

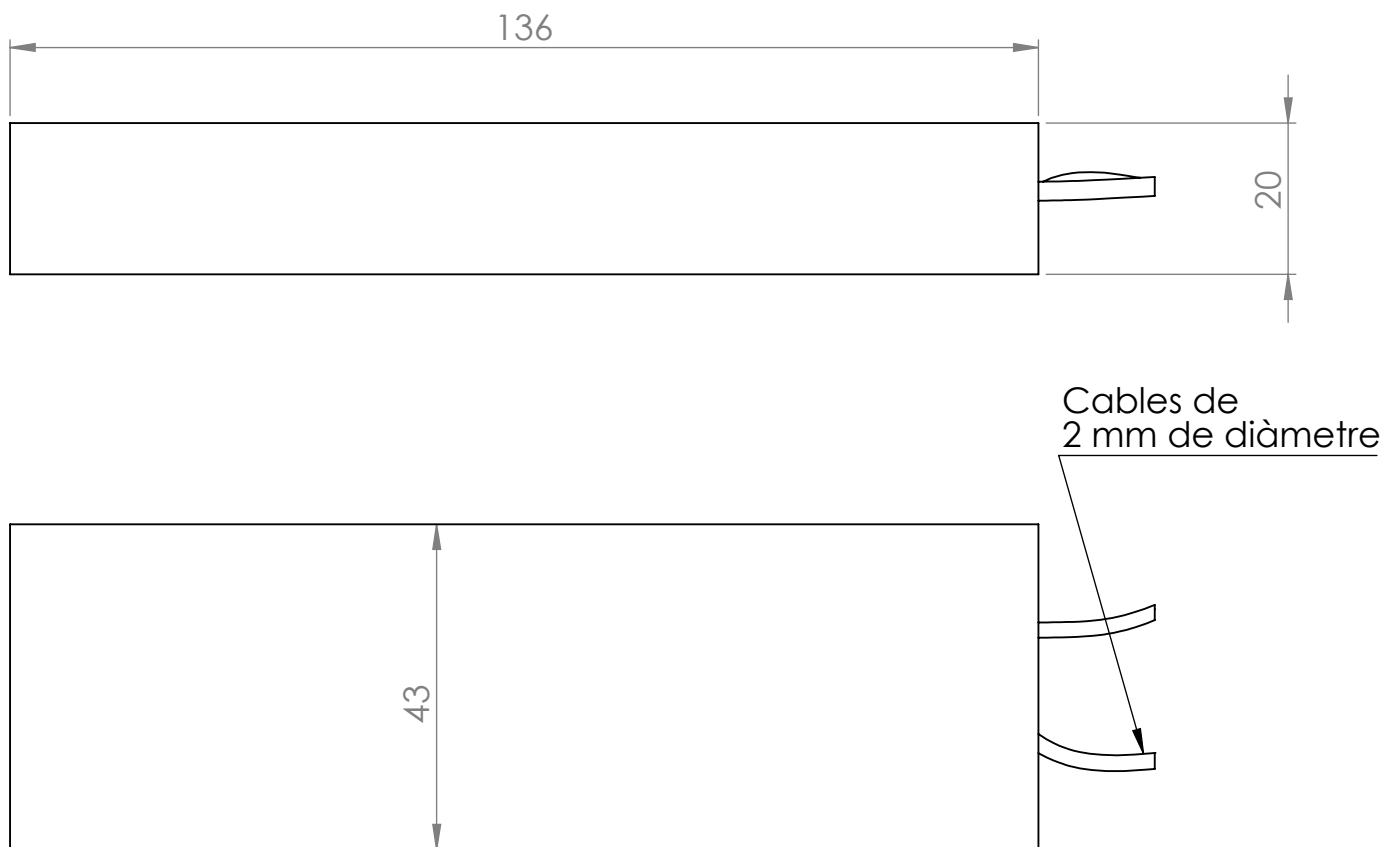


DETALL B
ESCALA 6:5

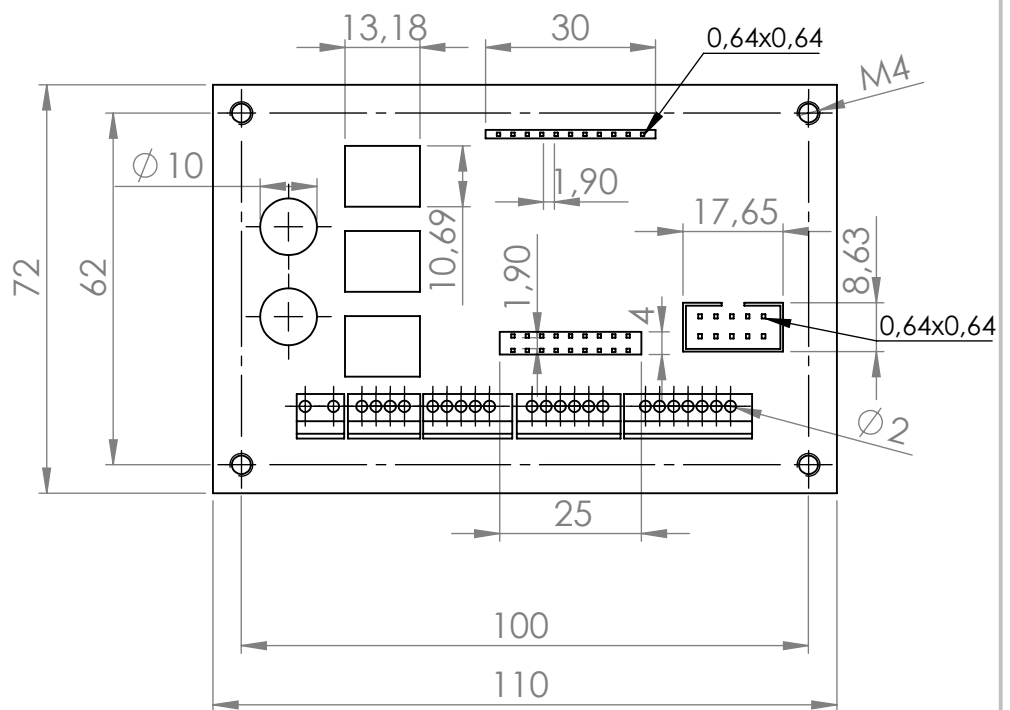
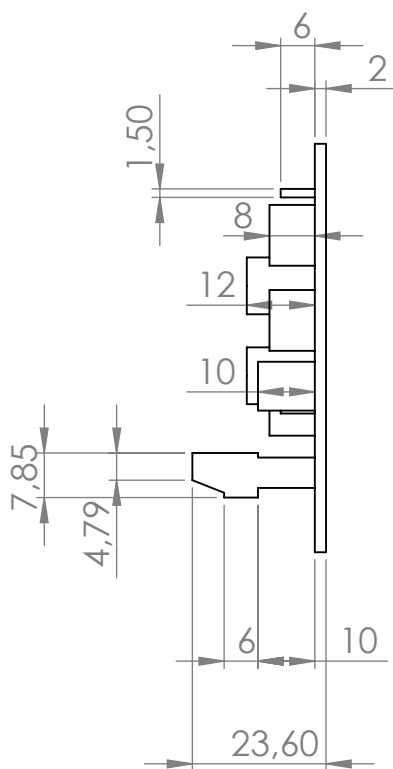
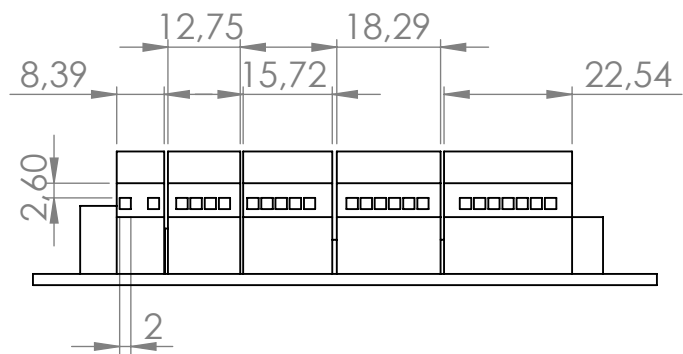
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Plàstic Acrílic		0,204		Difussor Llum LED	A4
				Escala:2:5	Full 12 de 35



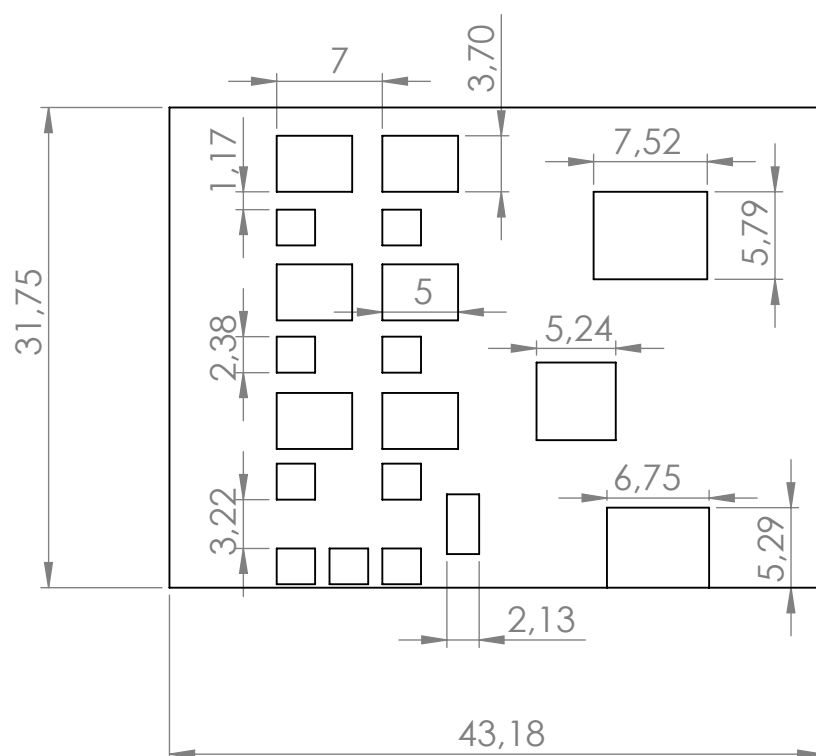
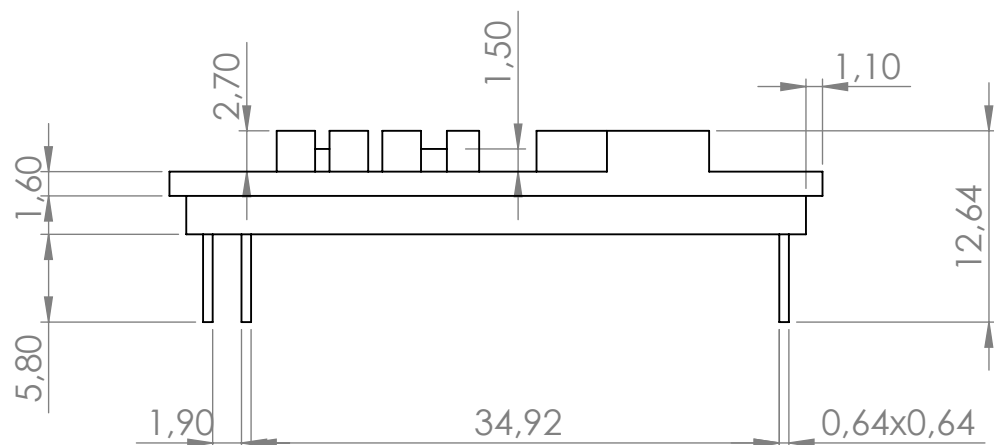
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	Díode LED
Plàstic PMMA			0,002	Escala:5:1	Full 13 de 35
A4					



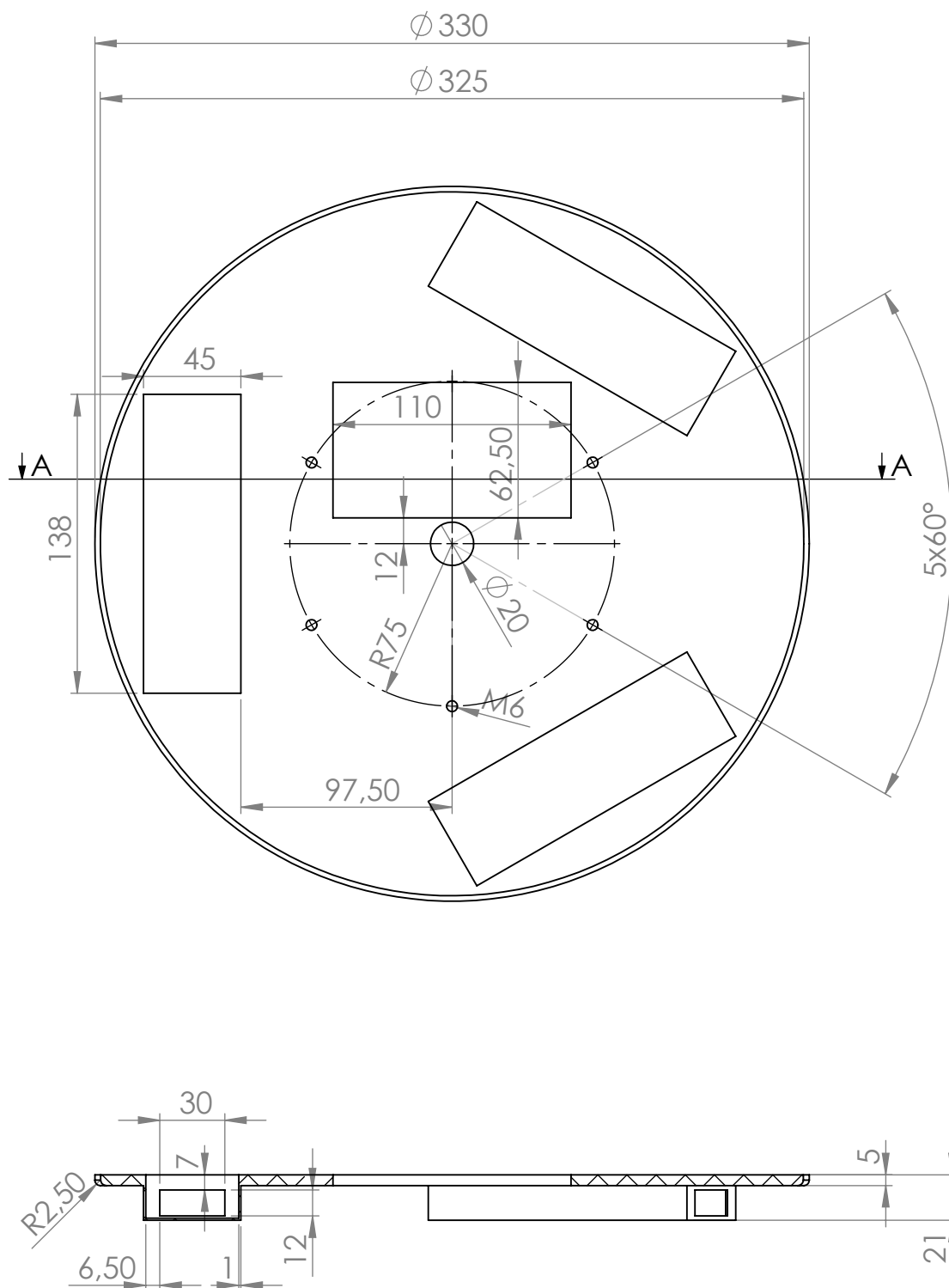
Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa <div></div> Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT			MASSA (Kg): 0,27	Referència Bateria Li-Po	
MATERIAL: Plàstic PTFE				Escala:1:1 Full 14 de 35	
					A4



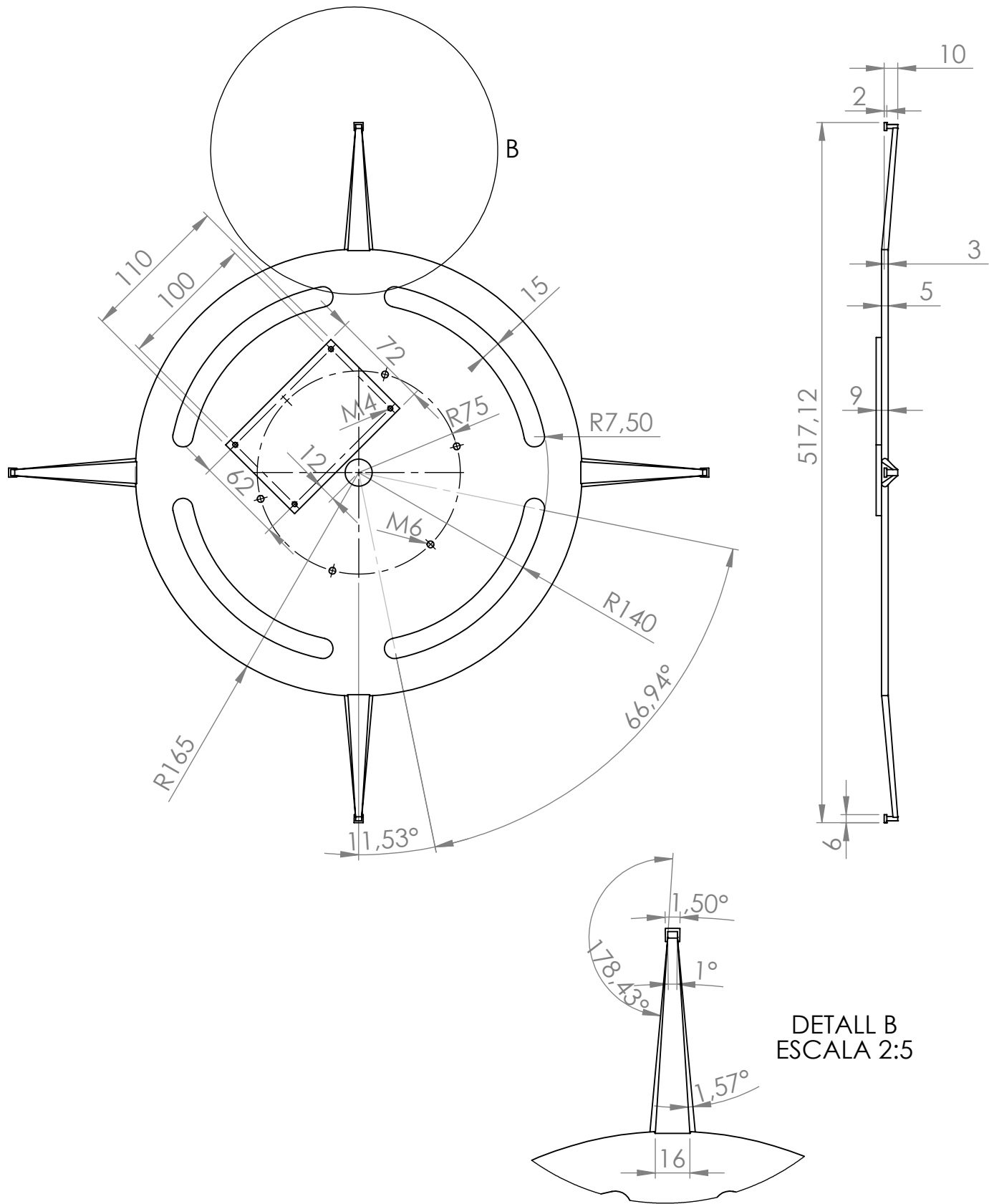
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Fibra de vidre-A		0,078		Placa mare	A4
				Escala:3:4	Full 15 de 35



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	Controladora
Fibra de vidre-A		0,014		Escala:2:1	Full 16 de 35
					A4

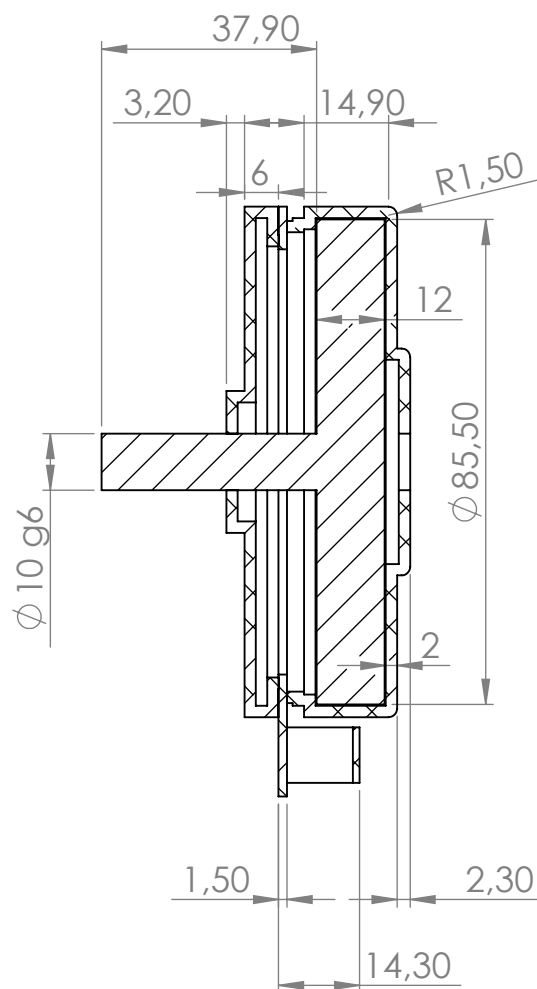
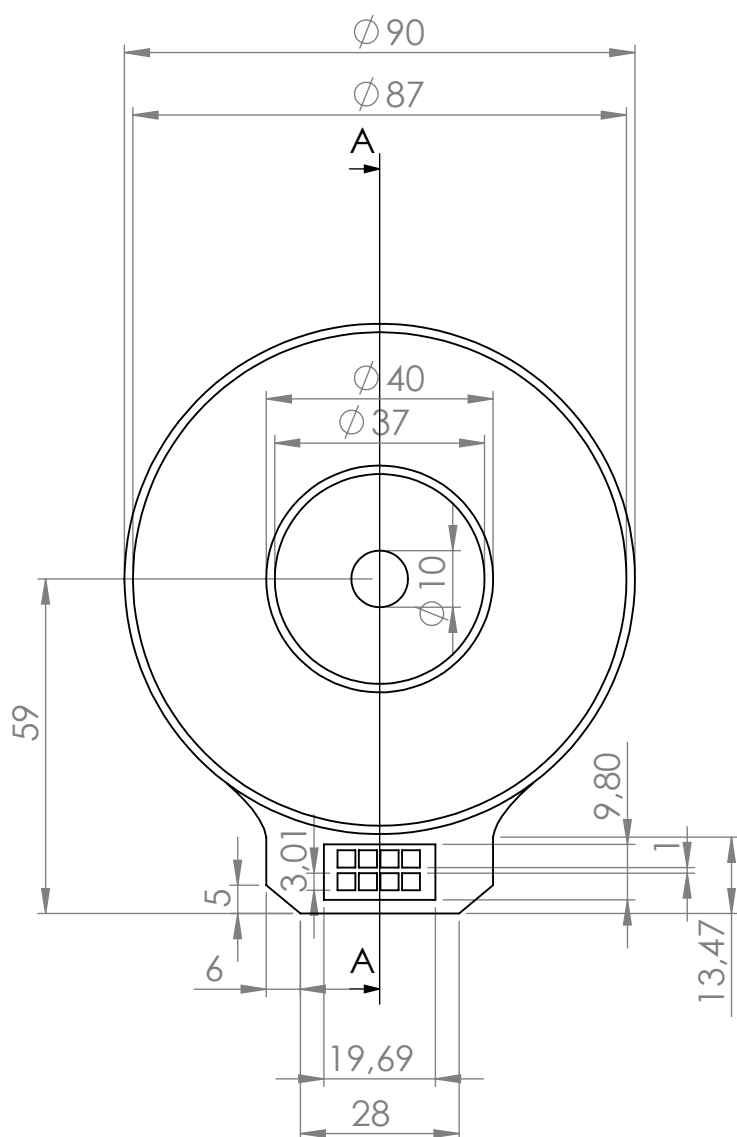


Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
PE (Alta densitat)			0,319	Coberta bateries	A4
				Escala:1:3	Full 17 de 35



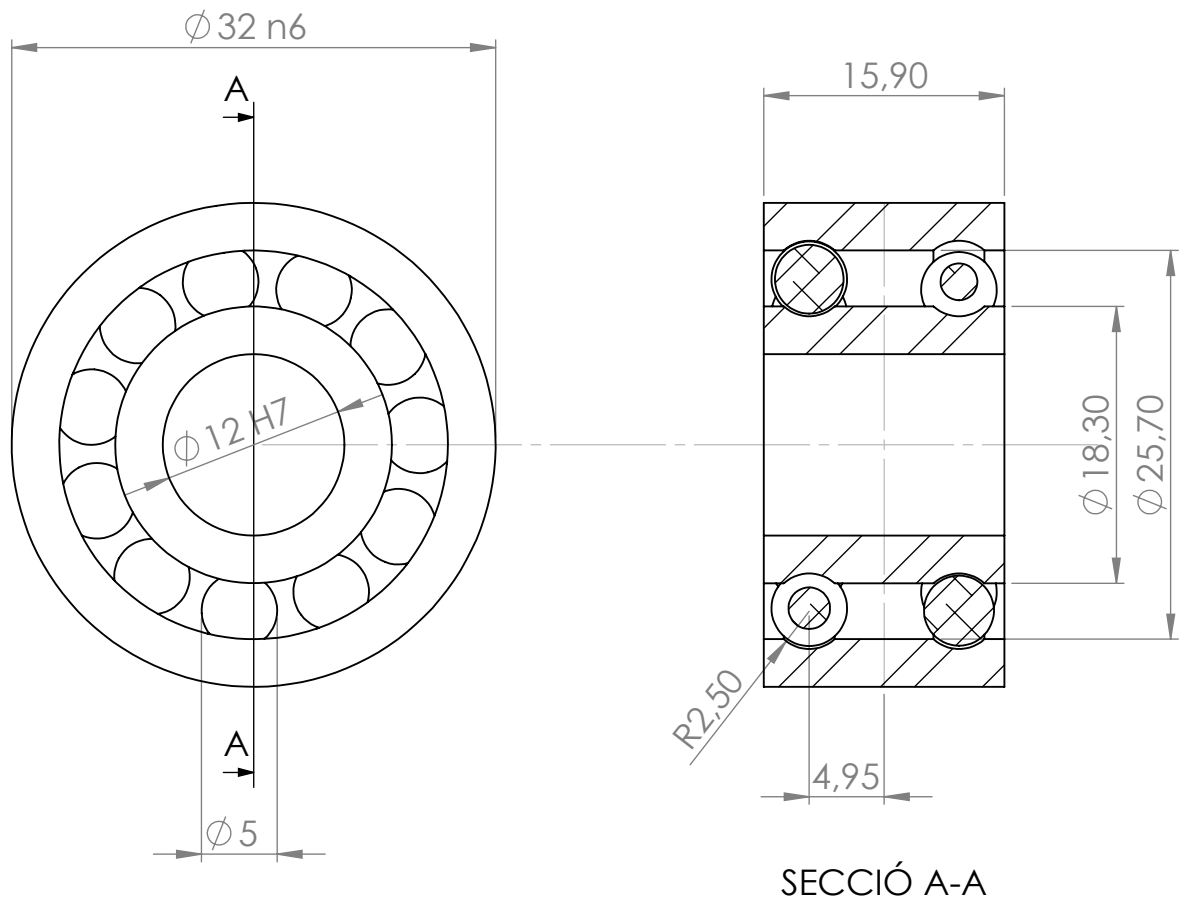
DETALL B
ESCALA 2:5

Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT			MASSA (Kg): 0,355	Referència Coberta bateries 2	
MATERIAL: PE (Alta densitat)				Escala:1:4	
			Full 18 de 35		A4

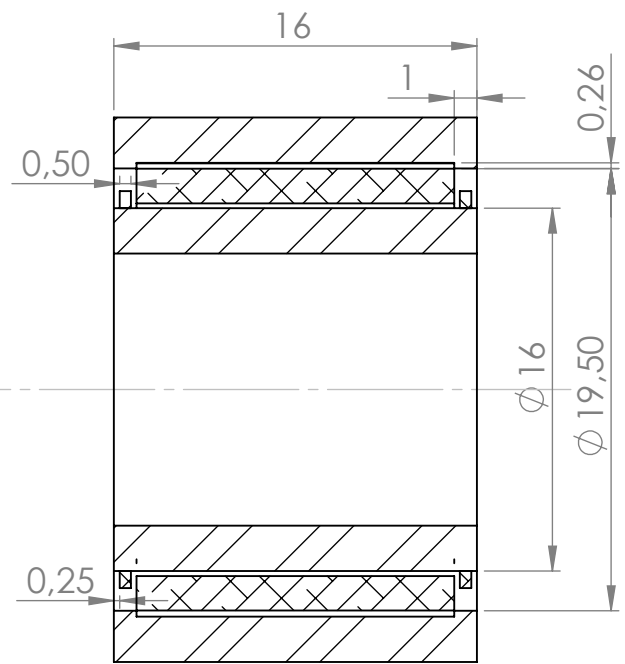
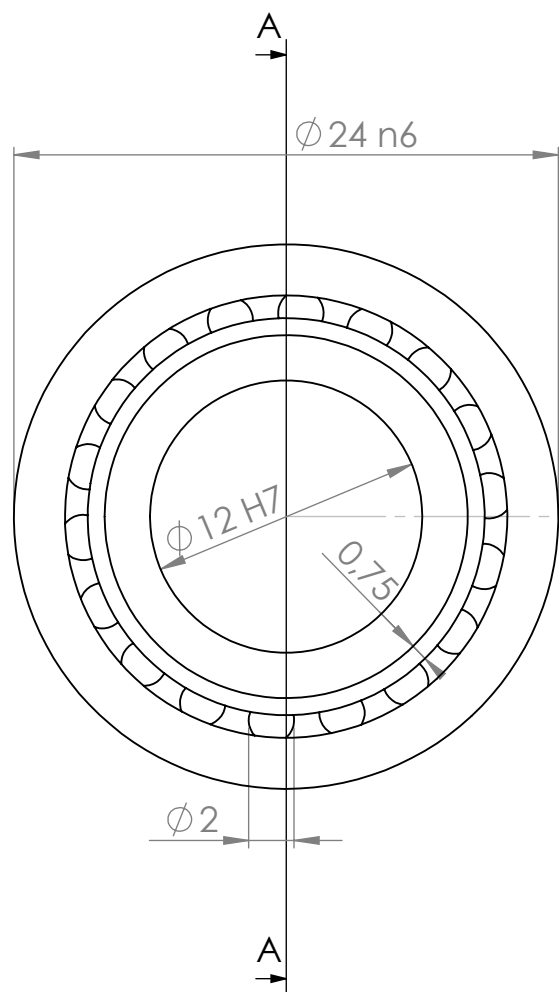


SECCIÓ A-A

Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	24/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Alumini 6061i Titani		0,580		Motor EC 90	A4
				Escala:3:4	Full 19 de 35

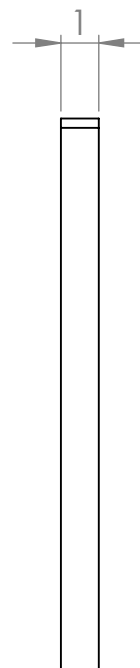
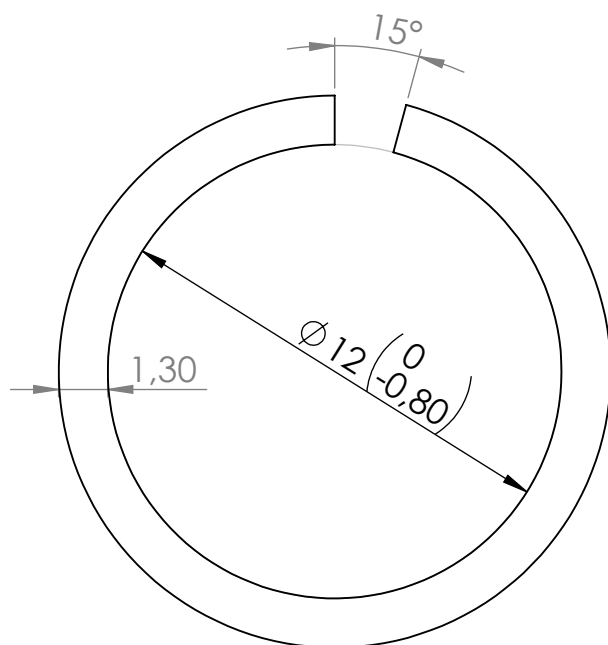


Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
Alumini 6061i Acer			0,055	Rodament boles	A4
				Escala:2:1	Full 20 de 35

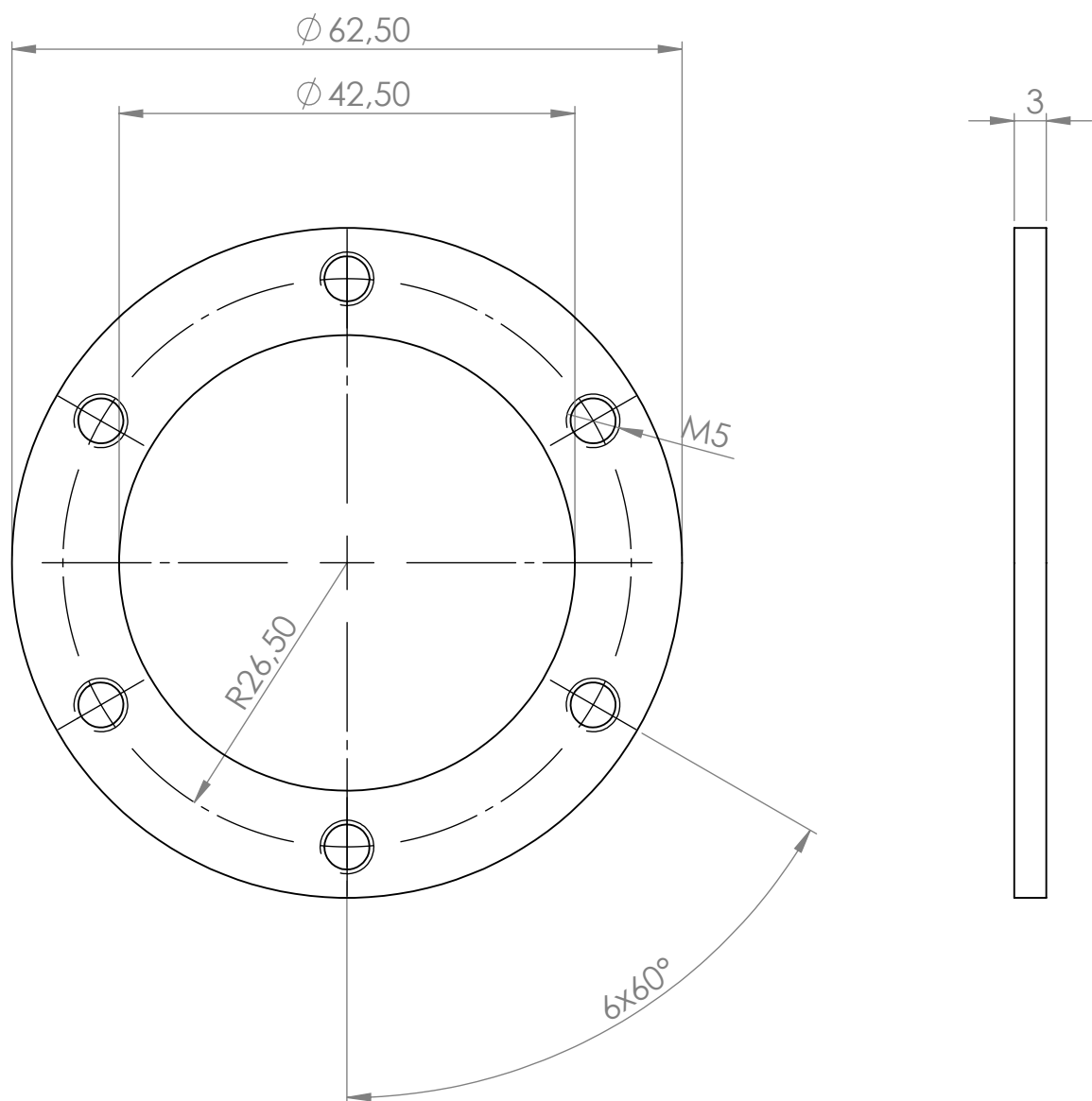


SECCIÓ A-A

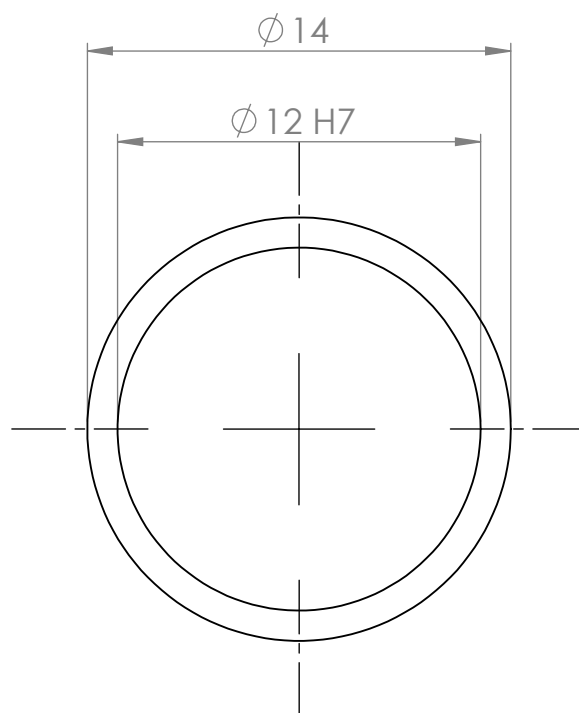
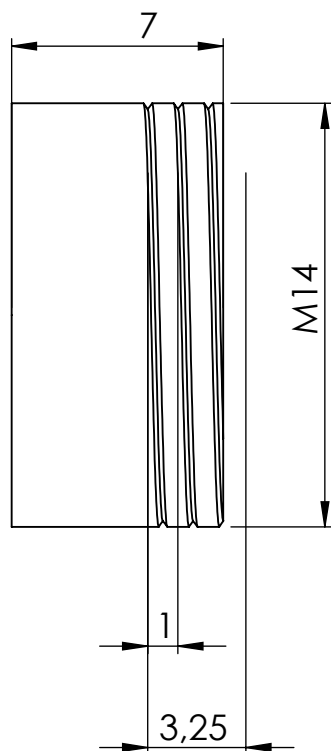
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Alumini 6061i Acer		0,031		Rodament agulles	A4
				Escala:3:1	Full 21 de 35



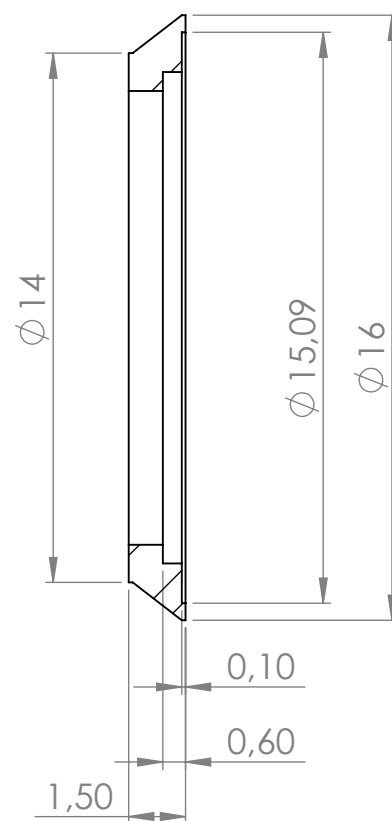
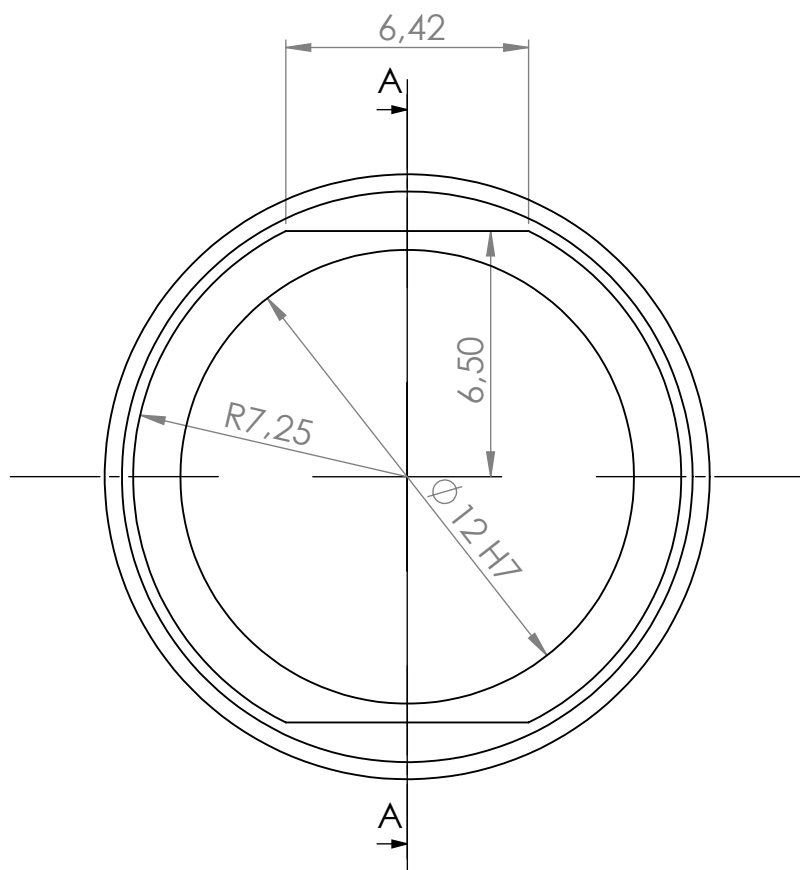
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL: Acer AISI 1020			MASSA (Kg): 0,0004	Referència	Anells elàstics
				Escala:5:1	Full 22 de 35
				A4	



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Plàstic PVC		0,006		Disc separador	A4
				Escala:3:2	Full 23 de 35

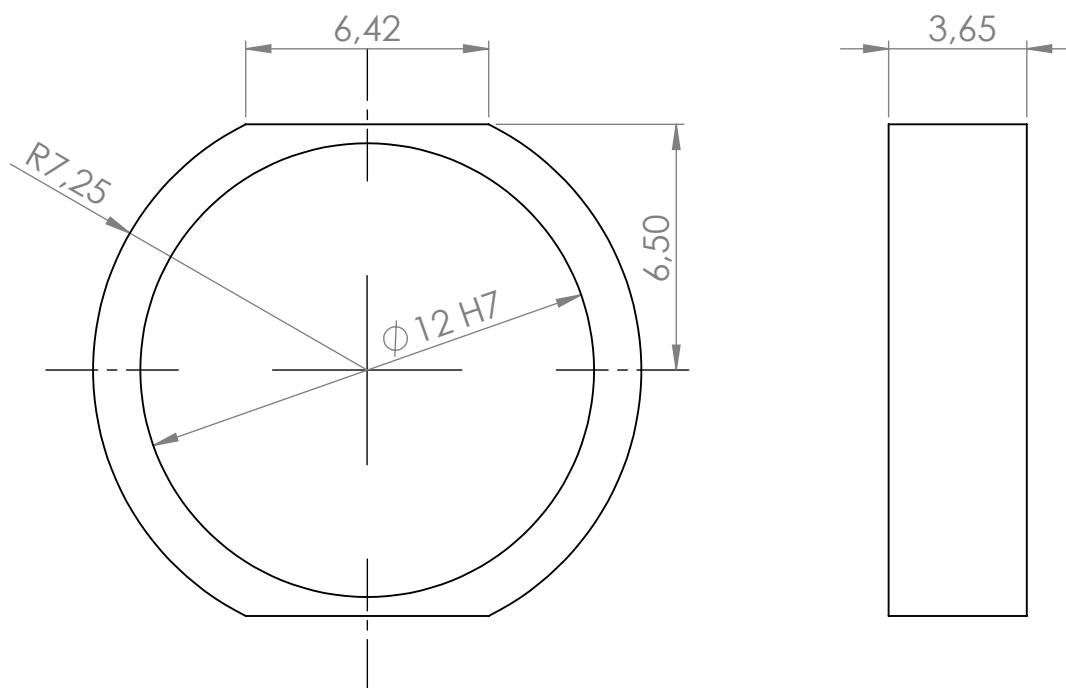


Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
Acer			0,002	Roscat M14	A4
				Escala:4:1	Full 24 de 35

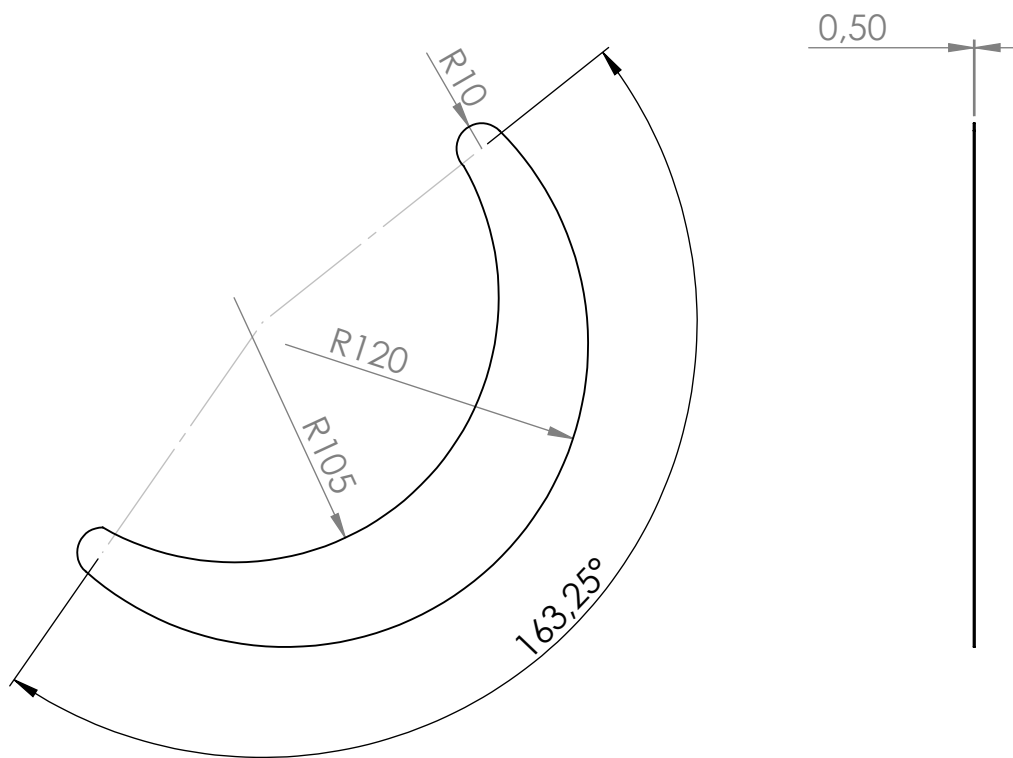


SECCIÓ A-A

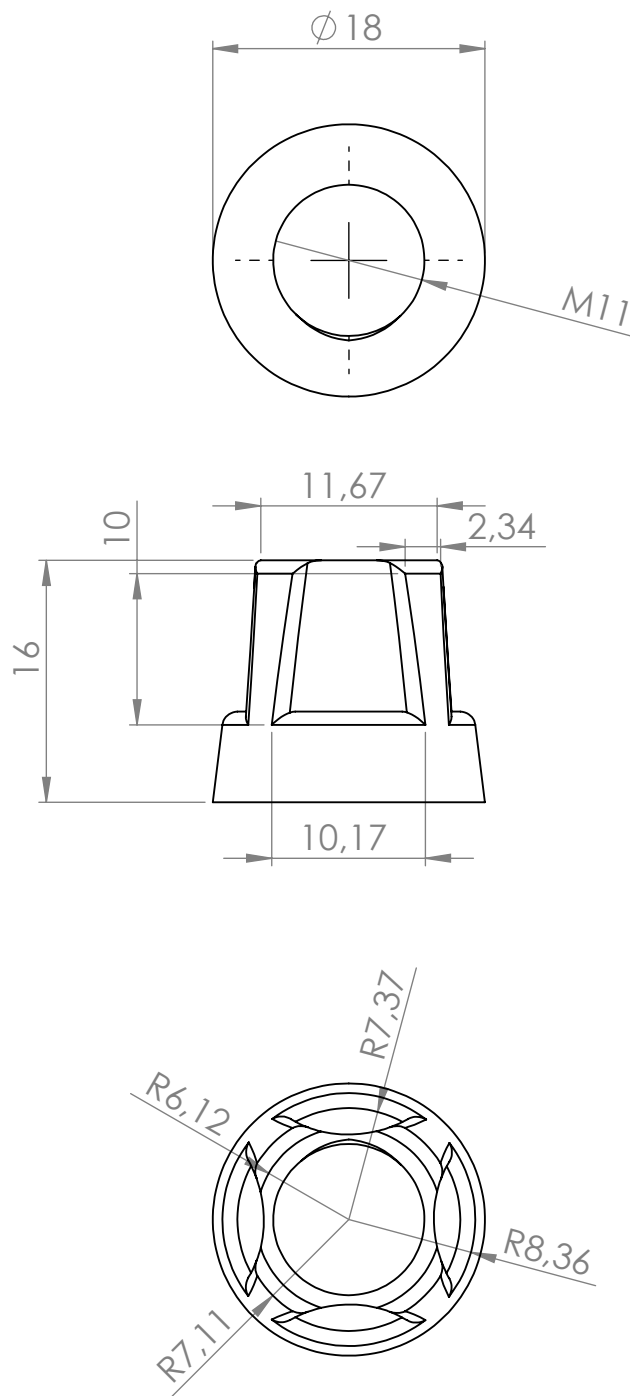
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Acer		0,0005		Separador con	A4
				Escala:5:1	Full 25 de 35



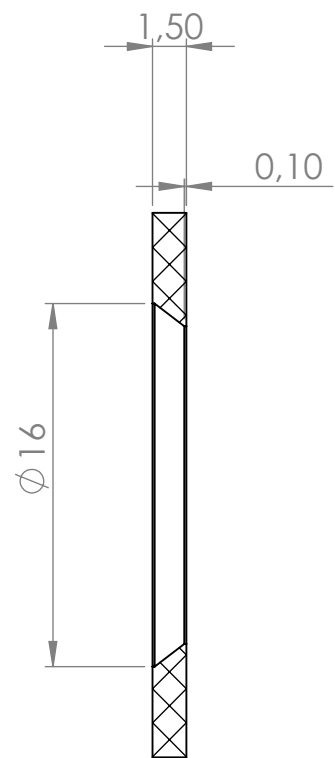
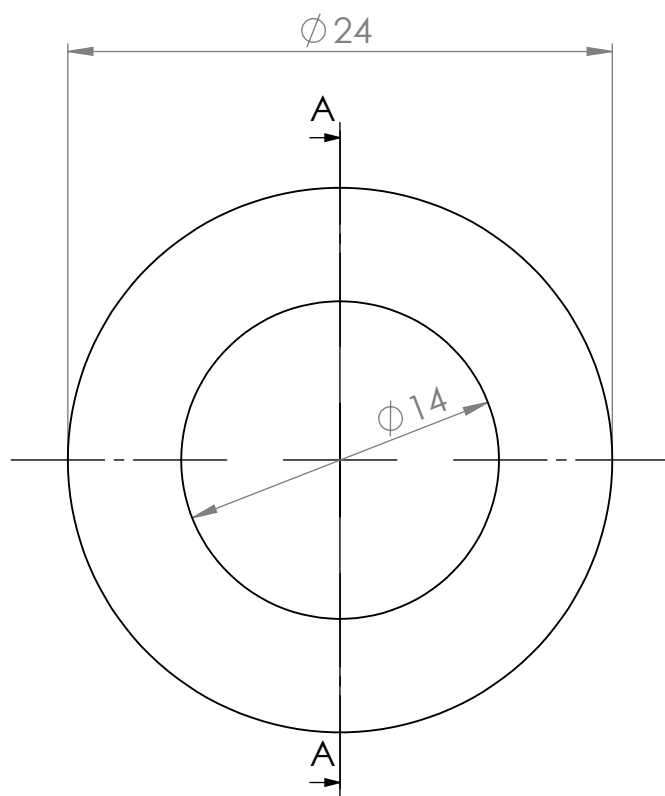
Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	
Acer		0,0013		Unió con-rosca	A4
				Escala:5:1	Full 26 de 35



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	
Plàstic PMMA			0,007	Plàstic transparent	A4
				Escala:1:3	Full 27 de 35

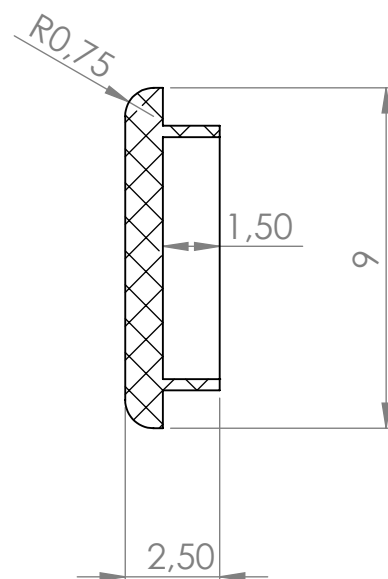
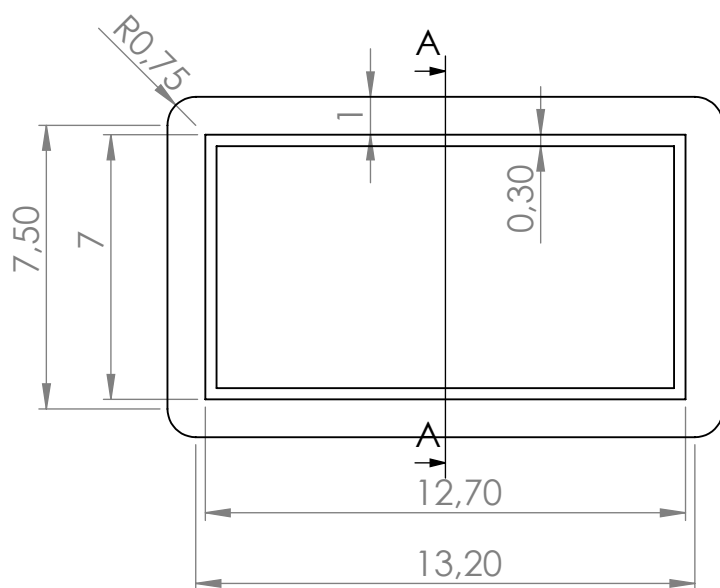


Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div> <div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:			MASSA (Kg):	Referència	Tap eix
Plàstic PVC			0,002	Escala:2:1	Full 28 de 35
					A4



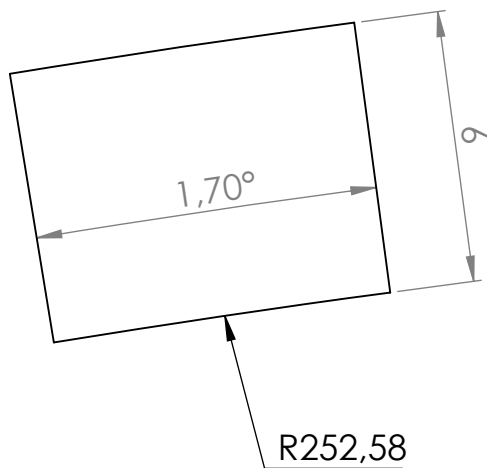
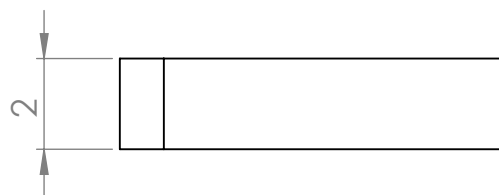
SECCIÓ A-A

Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL: Plàstic PVC			MASSA (Kg): 0,0005	Referència	Tapa exterior
				Escala:3:1	Full 29 de 35
				A4	

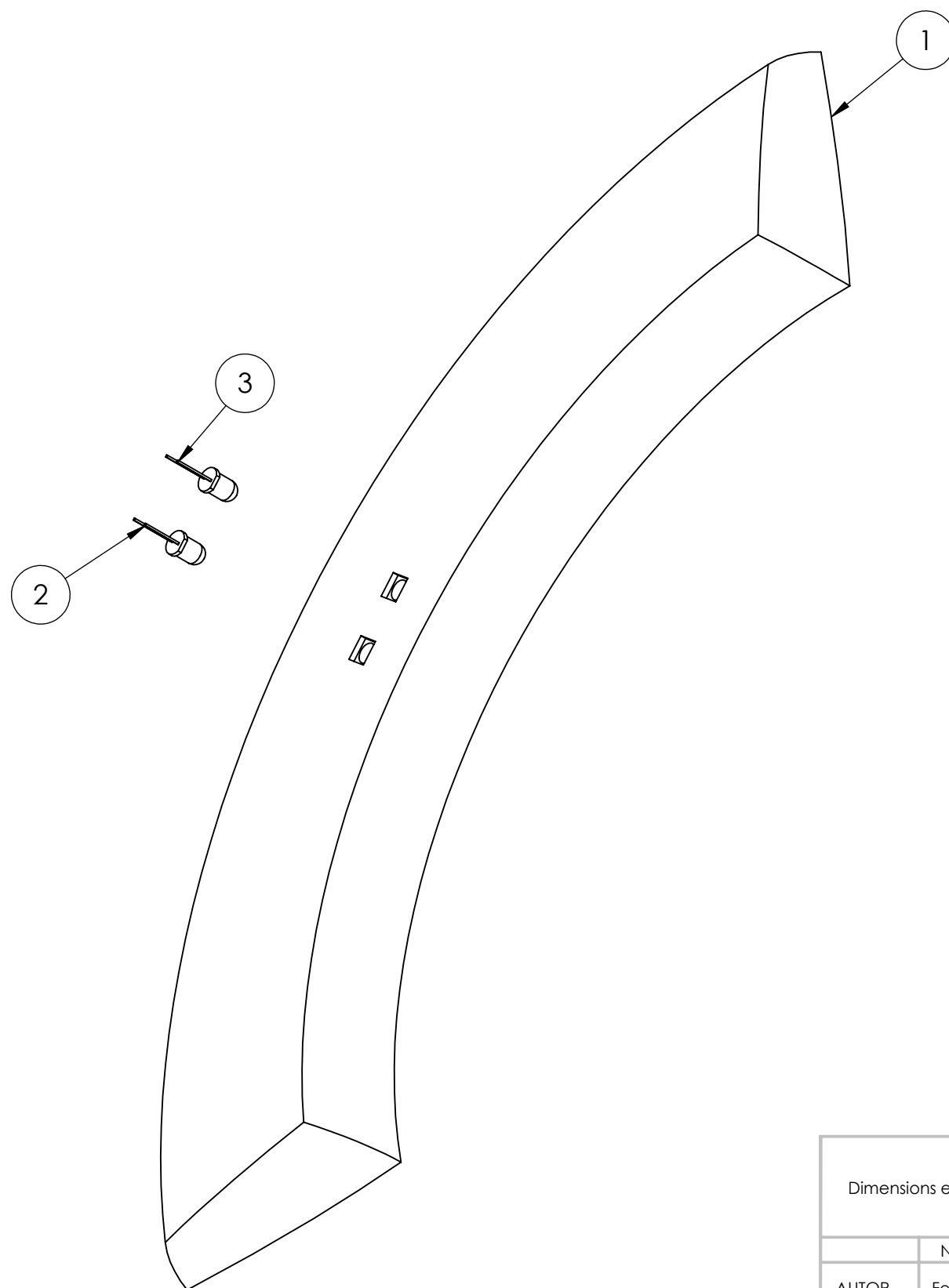


SECCIÓ A-A

Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div></div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL:		MASSA (Kg):		Referència	Tapa USB
PE (Baixa densitat)		0,0013		Escala:5:1	Full 30 de 35
A4					



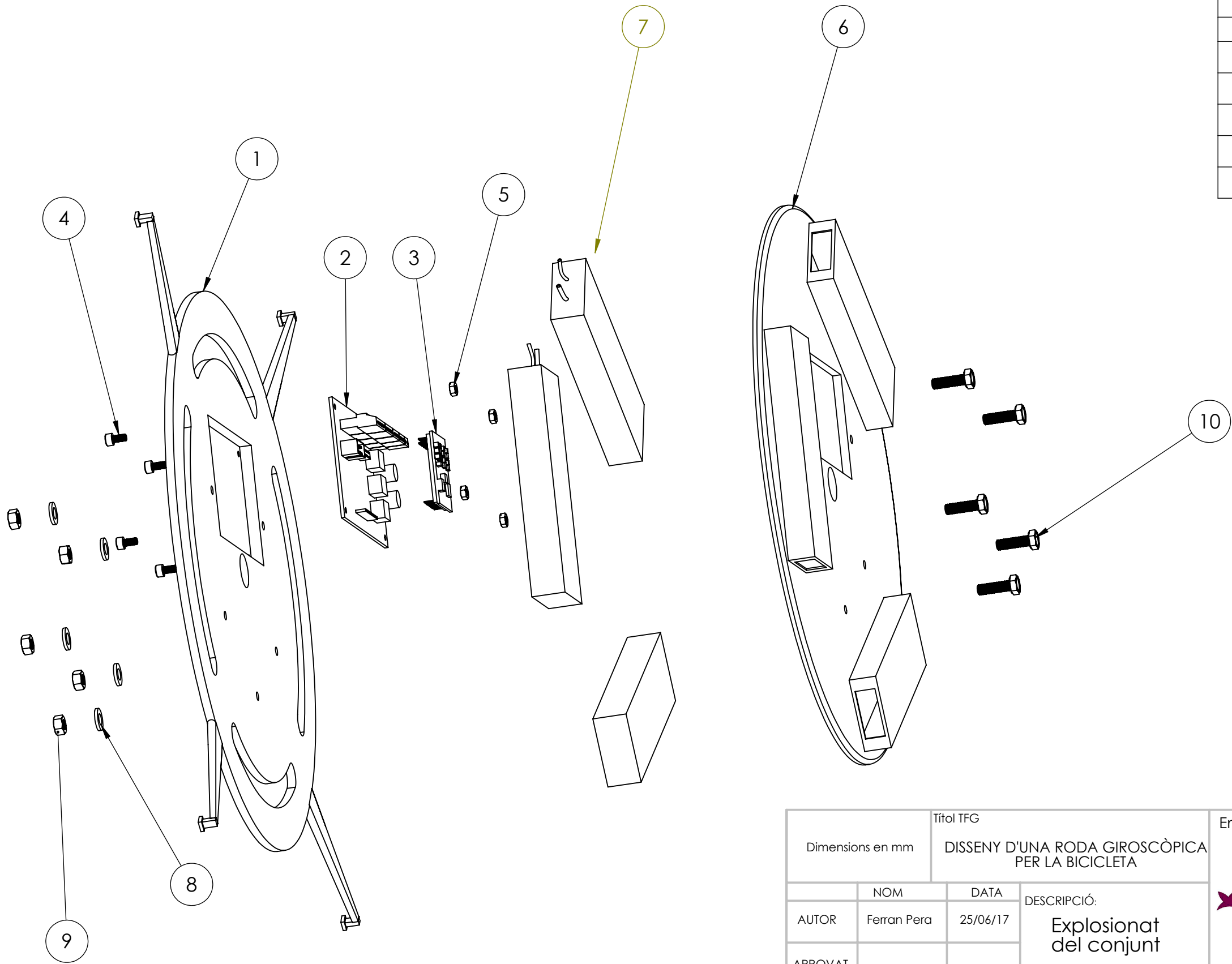
Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT					
MATERIAL: PE (Baixa densitat)			MASSA (Kg): 0,001	Referència	Fixadors coberta
				Escala:6:1	Full 31 de 35
				A4	



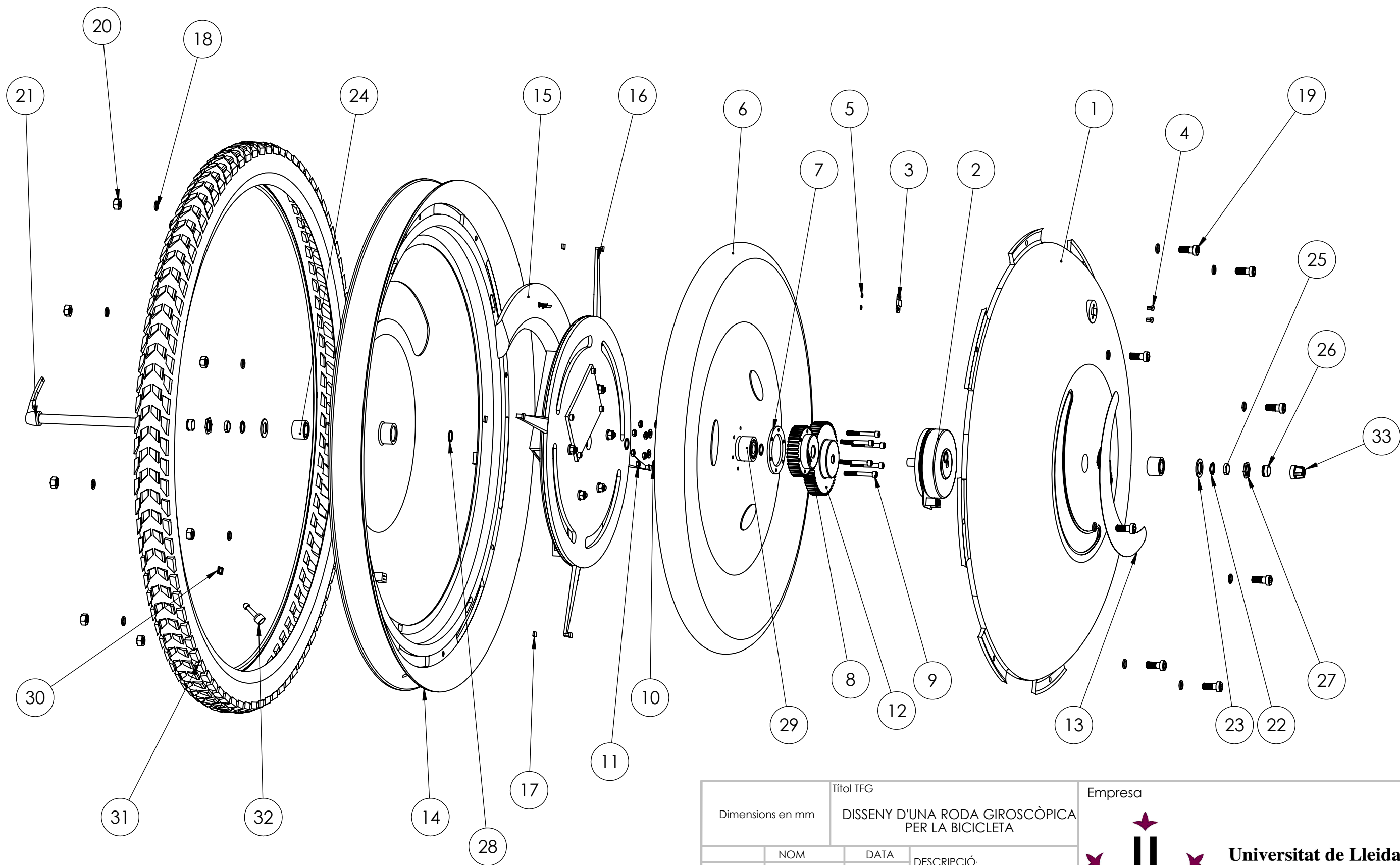
ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Difusor LED	1
2	Diode LED Roig	1
3	Diode LED Verd	1

Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA			
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17	Explosionat del conjunt	Referència Kit il·luminació	
APROVAT			MASSA (Kg):		
MATERIAL:				Escala:3:4	A3
				Full 32 de 35	

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Coberta bateries 2	1
2	Placa mare MAXON	1
3	Controladora ESCON MOD 50	1
4	TOA4X8	4
5	Femella04	4
6	Coberta bateries	1
7	Bateria Li-Po 11,1V	3
8	Volandera06	5
9	Femella06	5
10	TOR6X20	5



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ: Explosionat del conjunt	Referència Conjunt bateries	
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT			MASSA (Kg):	A3	
MATERIAL:					
				Escala:2:5	Full 33 de 35



Dimensions en mm		Títol TFG		Empresa	
		DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		<div>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</div>	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ:		
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17	Explosionat del conjunt		
APROVAT			MASSA (Kg):	Referència	Roda giroscòpica
MATERIAL:				Escala:1:5	Full 34 de 35
					A3

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Llanta extraïble	1
2	Motor EC 90	1
3	Sensor Hall	1
4	Passador Sensor Hall	2
5	Arandela Passador Hall	2
6	Disc inèrcia 4,5kg	1
7	Disc separador	1
8	Engranatge 2 40 dents	1
9	TOA5X40	6
10	Volandera05	6
11	Femella05	6
12	Engranatge 1 60 dents	1
13	Plastic transparent 0,5 mm	1
14	Llanta fixa	1
15	Kit il·luminació	1
16	Conjunt bateries	1
17	Taps fixadors coberta bateries	4
18	Volandera08	16
19	TOA8X25	8
20	FemellaA08	8
21	Eix passant 12x150mm	1
22	Separador con	2
23	Tapa exterior	2
24	Rodament agulles	2
25	Unió con-rosca	2
26	Roscat interior M14	2
27	Rosca M14x1	2
28	Anell elàstic AE12	4
29	Rodament boles	1
30	Tapa USB	1
31	Neumàtic	1
32	Vàlvula aire	1
33	Tap eix	1

Dimensions en mm		Títol TFG DISSENY D'UNA RODA GIROSCÒPICA PER LA BICICLETA		Empresa	
	NOM	DATA	DESCRIPCIÓ: Explosionat del conjunt	 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	
AUTOR	Ferran Pera	25/06/17			
APROVAT			MASSA (Kg):	Referència Roda giroscòpica	
MATERIAL:				Escala:1:5	
			Full 35 de 35		A3